

Matias Rantala

Tikkakosken jäähallin energiakatselmus

Jääkiekkoliiton Keskimaan olosuhdevaliokunta

Opinnäytetyö

Kevät 2015

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: LVI-tekniikka

Tekijä: Matias Rantala

Työn nimi: Tikkakosken jäähallin energiakatselmus

Ohjaaja: Eero Kulmala

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 142

Liitteiden lukumäärä: 6

Rakennusten paremmalla energiatehokkuudella pyritään vähentämään energiankulutusta, energiakustannuksia sekä kasvihuonekaasupäästöjä. Suomen ja EU:n energiapolitiikan yleisinä tavoitteina on edistää energian tehokkaampaa käyttöä rakennuksissa.

Opinnäytetyössä suoritettiin energiakatselmus Tikkakosken jäähalliin vuosina 2014–2015. Työ toteutettiin Jääkiekkoliiton Keskimaan olosuhdevaliokunnan toimeksiannosta. Energiakatselmuksen tavoitteena oli selvittää Tikkakosken jäähallin energiankäytön nykytila ja laatia kerättyjen lähtötietojen pohjalta toimenpideehdotuksia kohteen energiatehokkuuden parantamiseen.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään jäähallien erityispiirteitä rakennuksena, energiatehokkaasta näkökulmasta. Energiankäytön nykytilan kuvauksessa esitetään Tikkakosken jäähallin laitetekniikkaa sekä energiankulutuksen jakautumista laite- ja järjestelmäkohtaisesti.

Katselmuksen tuloksena esitettyjen toimenpide-ehdotusten mukaan energiatehokkuutta olisi kohteessa mahdollista parantaa etenkin lauhdelämmön tehokkaammalla hyödyntämisellä, kylmäkoneen ja valaistuksen uusimisella sekä järjestelmien ohjaus- ja säätötapoja muuttamalla.

Avainsanat: Jäähallit, Energiatehokkuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Technology

Author: Matias Rantala

Title of thesis: Energy efficiency analysis of the indoor ice rink of Tikkakoski

Supervisor: Eero Kulmala

Year: 2015

Number of pages: 142

Number of appendices: 6

By improving the energy efficiency of buildings, energy consumption, energy costs and greenhouse gases could be reduced. To use energy more efficiently, Finland and the EU have set objectives, regulations and directives concerning their energy policies.

The thesis was assigned by the Finnish Ice Hockey Association. The main objectives were to examine the present situation of the energy efficiency in the Tikkakoski indoor ice rink and to discover solutions to improve it. The energy efficiency analysis of the ice rink was made during 2014–2015.

The theoretical part of the thesis handles ice rinks from the perspective of energy efficiency. The thesis showed the present situation of the energy efficiency of the ice rink and additionally described the level of energy efficiency in technical devices.

The ice rink could improve its energy efficiency particularly by recovering the waste heat from the refrigeration system, replacing the refrigerating machine and light fixtures and improving automation systems.

Keywords: Indoor ice rinks, Energy efficiency

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	9
1 JOHDANTO	11
1.1 Työn tausta	11
1.2 Jäähallit Suomessa.....	11
1.3 Energiakatselmus	12
1.4 Työn rakenne.....	14
2 JÄÄHALLIEN ERITYISPIIRTEET	15
2.1 Energiatehokas jäähalli	15
2.2 Energiankulutus jäähalleissa	16
2.3 Jään teon teoria	19
2.3.1 Kylmäteknikka.....	19
2.3.2 Käytetyt kylmäaineet ja -liuokset.....	22
2.3.3 Kylmäkoneen toiminta ja sen pääkomponentit.....	23
2.3.4 Kylmäkerroin ja kompressorin sähköenergiankulutus	28
2.4 Lämmitysjärjestelmä	29
2.4.1 Lämmitysmuodot ja lämmönjakotavat.....	29
2.4.2 Lauhdelämmön hyödyntäminen	32
2.5 Käyttö- ja jäänhoitovesi	34
2.6 Ilmanvaihto.....	36
2.6.1 Ilmanvaihtojärjestelmä	36
2.6.2 Ilmankuivaus	39
2.7 Valaistus	40
2.8 Rakenneratkaisut	41
3 TIKKAKOSKEN JÄÄHALLI	46
3.1 Kohteen esittely	46
3.2 Energiankäytön nykytila	47

3.3 Kylmäkoneisto.....	53
3.3.1 Kylmäkonekontin komponentit.....	53
3.3.2 Kylmäkertoimen määrittäminen	56
3.4 Lämmitysjärjestelmä	57
3.4.1 Käyttö- ja jäänhoitoveden lämmitys	58
3.4.2 Lattialämmitys.....	61
3.4.3 Patterilämmitys	63
3.4.4 Hallitilan lämmitys	63
3.5 Ilmanvaihtojärjestelmä	65
3.6 Rata-alueen valaistus	69
4 TOIMENPIDE-EHDOTUKSET	71
4.1 Lauhdelämmön tehokkaampi hyödyntäminen.....	71
4.2 Tarpeenmukainen ilmanvaihto hallitilaan (TK1)	77
4.3 Kylmäkoneiston uusiminen	80
4.4 Jäänhoitoveden ominaisuuksien optimointi.....	85
4.5 Jään paksuuden optimointi	87
4.6 Rata-alueen valaistuksen uusiminen	89
4.7 Muut ehdotukset	91
4.7.1 Vedenkulutuksen vähentäminen.....	91
4.7.2 Tiiveyden parantaminen tuulikaapilla.....	92
4.7.3 Jäähän kohdistuvien lämpökuormien minimointi.....	93
4.7.4 Uusiutuvan energian hyödyntäminen.....	94
5 KANNATTAVUUSARVIONTI	96
5.1 Laskennan lähtötiedot.....	96
5.2 Investointien kannattavuuslaskelmat	97
6 TULOSTEN YHTEENVETO.....	101
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	103
7.1 Jäähallien energiatehokkuudesta.....	103
7.2 Opinnäytetyö prosessina	104
LÄHTEET	105
LIITTEET	109

Kuvio- ja taulukkoluettelo

KUVIO 1. Jäähallin energiankäyttötarpeita.	15
KUVIO 2. Jäähallin tavanomaiset vuotuiset käyttökustannukset.....	17
KUVIO 3. Kokonaisenergiantarpeen suuntaa antava jakautuminen jäähallissa....	17
KUVIO 4. Sähköenergian kulutusjakauma jäähallissa.	18
KUVIO 5. Lämmitysenergian tarpeen jakautuminen jäähallissa.....	19
KUVIO 6. Jäähän kohdistuvat lämpökuormat.	20
KUVIO 7. Välillisen ja suorahöyrysteisen jäähdytysjärjestelmän toimintaperiaate.	21
KUVIO 8. Kylmäprosessin toimintaperiaate.	24
KUVIO 9. Ruuvikompressorin toimintaperiaate.....	25
KUVIO 10. Mäntäkompressorin toimintaperiaate	25
KUVIO 11. Ulkoilmalauhduttimen toimintaperiaate	26
KUVIO 12. Levylämmönsiirtimen toimintaperiaate.....	26
KUVIO 13. Paisuntaventtiilin toimintaperiaate	27
KUVIO 14. Kompressorin sähköenergiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä.	29
KUVIO 15. Lämpöenergian tarpeen muodostavat tekijät hallitilan lämmityksessä.	30
KUVIO 16. Esimerkki lattialämmitysratkaisusta.	32
KUVIO 17. Lauhdelämmön hyödyntämisen periaatekaavio.....	33
KUVIO 18. Sähköteho tarve ja häviöt puhallinkäytössä.	37
KUVIO 19. Ilmanvaihdon LTO-ratkaisuja.	38
KUVIO 20. Ilmavirtojen nimitykset.....	39
KUVIO 21. Kondenssikuivauksen toimintaperiaate.....	40
KUVIO 22. U-arvon vaikutus johtumislämpöhäviöihin.	43
KUVIO 23. Esimerkki jääkentän alapohjarakenteesta.....	45
KUVIO 24. Pohjapiirustus Tikkakosken jäähallista.....	46
KUVIO 25. Kokonaisenergian tarpeen jakauma Tikkakosken jäähallissa	47
KUVIO 26. Kylmäkoneiston kytkentäkaavio.	55
KUVIO 27. Toimintalämpötilojen vaikutus kompressorin kylmä- ja sähkötehoon..	56
KUVIO 28. Tikkakosken jäähallin tilakohtaiset lämmönjakotavat.	57
KUVIO 29. Käytössä oleva käyttö- ja jäänhoitoveden lämmitys järjestelmä.	59
KUVIO 30. Käyttöveden lämmityksen säätöperiaate.	59
KUVIO 31. Lattialämmityspiirin menoveden säätöperiaate.	62

KUVIO 32. Hallitilaan puhallettavan tuloilman lämmitysperiaate.....	65
KUVIO 33. Ilmanvaihtopattereiden säädön toiminta.	65
KUVIO 34. Käytössä oleva lauhdelämmön hyödyntämiskäytäntö.....	71
KUVIO 35. Lauhdelämmön hyödyntäminen lattialämmityksessä.....	73
KUVIO 36. Tehostusesimerkki lauhdelämmön hyödyntämiseen.....	74
KUVIO 37. Esimerkkiratkaisu lämpöpumpullisesta lämmitysjärjestelmästä.	75
KUVIO 38. Hallitilan lämmitysperiaate lattialämmityksellä ja kiertoilmakojeilla	76
KUVIO 39. Taajuusmuuntajakäytön periaatekuva.	79
KUVIO 40. Ammoniakin ja R404A-kylmäaineen vertailu.....	81
KUVIO 41. Periaatekuva ICEguard-järjestelmän toiminnasta.	88
Taulukko 1. Jäähalleihin suoritettujen energiakatselmuksien säästökohteita	13
Taulukko 2. Jäähallin lämpötilojen tavoitearvoja.....	16
Taulukko 3. Käytettyjen kylmäliuosten ominaisuuksia.	23
Taulukko 4. Menoveden mitoituslämpötiloja lämmönjakotavoittain.....	30
Taulukko 5. LTO-laitteen vuosihyötysuhde rakennusmääräyksissä.....	39
Taulukko 6. Lampputyypin ominaisuuksia.	41
Taulukko 7. Lämmönläpäisykertoimien vertailuarvoja rakentamismääräyksissä. .	42
Taulukko 8. Ilmanvuotoluvut rakentamismääräyksissä.	43
Taulukko 9. Tikkakosken jäähallin laajuustiedot	46
Taulukko 10. Sähköenergian kulutus kuukausittain Tikkakosken jäähallissa.....	48
Taulukko 11. Sähköenergian laskennallinen laitekohtainen kulutusjakauma.....	49
Taulukko 12. Kaukolämmön kulutus kuukausittain Tikkakosken jäähallissa.....	50
Taulukko 13. Lämpöenergian tarpeen järjestelmäkohtainen kulutusjakauma.....	50
Taulukko 14. Käyttöveden kulutus kuukausittain Tikkakosken jäähallissa.....	51
Taulukko 15. Käyttöveden kulutusjakauma.....	51
Taulukko 16. Jäähallien kulutustietojen vertailua	52
Taulukko 17. Lämmitysenergian kokonaistarpeen jakautuminen kuukausittain....	58
Taulukko 18. Lattialämmityspiirin lämmitysenergian tarve kuukausittain.	62
Taulukko 19. Patterilämmitteisten tilojen lämmitysenergian tarve kuukausittain. ...	63
Taulukko 20. Hallitilan lämmitysenergian tarve kuukausittain.	64
Taulukko 21. Tuloilmavirrat puhaltimen TF1 eri pyörimisnopeuksilla.	66
Taulukko 22. Hallitilan ilmanvaihtokoneen puhaltimien energiankulutus.....	68
Taulukko 23. Jäähallin lämmitysenergian tarpeen kuitaavat lämmönlähteet.	72

Taulukko 24. Lauhdelämmön arvioitu hyödyntämispotentialiaali.	73
Taulukko 25. Lämpöenergiansäästö kuvion 36 esimerkkiratkaisulla.....	77
Taulukko 26. Esimerkki tuloilmavirtojen tarpeenmukaisesta säädöstä.	80
Taulukko 27. Käyttöä vastaava tarpeenmukainen jään lämpötila	82
Taulukko 28. Kylmälaitosten vertailuesimerkki.....	84
Taulukko 29. Jäänhoitoveden ominaisuuksien vaikutus energiankulutukseen	87
Taulukko 30. Jäänpaksuuden vaikutus sähköenergiankulutukseen.....	89
Taulukko 31. Led-valaistuksella saatava säästö sähköenergiankulutuksessa	90
Taulukko 32. Esimerkki valaistustason säädöstä käytön mukaan.....	91
Taulukko 33. Mitoituksen normivirtaamat vesikalusteille.....	92
Taulukko 34. Laskennassa käytettävät hinnat	96
Taulukko 35. Lauhdelämmön hyödyntämisratkaisun kannattavuuslaskelma.	97
Taulukko 36. Hallitilan valaistuksen uusimisen kannattavuuslaskelma.	98
Taulukko 37. Hallitilan tarpeenmukaisen ilmanvaihdon kannattavuuslaskelma. ...	99
Taulukko 38. Kylmäkoneen kylmäkertoimen vaikutus energiakustannuksiin.	100
Taulukko 39. Suoritetun energiakatselmuksen esimerkkiratkaisujen yhteenveto	102

Käytetyt termit ja lyhenteet

Energiakatselmus	Raportoitu energiankäytön ja energian säästömahdollisuuksien kartoitus.
Jäähalli	Jäähalli on sisähalli, jossa on jäädytetty pelialue ja jonka sisäilmastoa voidaan hallita. Pelialue on yleensä tekojäättä. Jäähallin ensisijaisena käyttötarkoituksena on jääurheilu.
Hallitila	Jäähallissa oleva avoin hallimainen tila, jossa sijaitsee yleensä pelialue ja katsomo.
Kylmäliuos	Aineiden seos, joka on muodostettu jäätymisen estämiseksi, esimerkiksi etyleeniglykoli-vesi-seos.
Kylmäaine	Nesteytetty kaasu, jota käytetään lämmönsiirtämisen väliaineena kylmäkoneissa.
Jäänhoitovesi	Vesi, jota käytetään jäähalleissa jääkentän huoltotoimenpiteisiin.
Huippuimuri	Poistoilmapuhallin, joka sijaitsee rakennuksen katolla.
COP	Koneen suorituskkyä kuvaava lukuarvo (coefficient of performance), kuten esimerkiksi kylmäkoneen kylmäkerroin tai lämpöpumpun lämpökerroin.
SEER	Kylmäkoneen keskimääräinen kylmäkerroin koko jäähdytyskauden aikana.
Jäähdytyskausi	Ajanjakso, jolloin jäähallissa ylläpidetään tekojäättä.
SFP-luku	Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteon arvo, joka kertoo paljonko sähkötehoa ilmanvaihtokone tarvitsee yhden ilmakeuution siirtämiseen sekunnissa, [kW/m ³ s].

LTO	Lämmöntalteenottolaite, jonka avulla lämpöenergiaa otetaan talteen ja käytetään hyödyksi lämmityksessä.
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin kuvaa rakenneosan, kuten ulkoseinän eristyskykyä. Yksikkönä $W/(K\ m^2)$.
MWh ja kWh	Wattitunnit ovat energian yksikköjä, $1\ MWh = 1\ 000\ kWh$.
MW ja kW	Watit ovat tehon yksikköjä, $1\ MW = 1\ 000\ kW$.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Rakennusten energiatehokkuuden parantamisella pyritään vähentämään energiankulutusta, energiakustannuksia sekä kasvihuonekaasupäästöjä. Suomen kansallisella tasolla rakentamisen energiatehokkuusmääräyksiä asettaa Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyksissä on asetettu vaatimuksia esimerkiksi rakenteiden eristävyystasoihin ja teknisten laitteiden ominaisuuksiin. Myös jo rakennettujen rakennusten energiatehokkuuteen on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota niiden kuluttaessa valta osan kokonaisenergiasta uudisrakentamiseen verrattuna. Esimerkiksi korjausrakentamiseen on asetettu rakennusmääräyksiin vaatimuksia, joilla otetaan huomioon myös energiatehokkuuden parantuminen korjauskohteessa.

Myös EU-tason energiapolitiikassa on tavoitteeksi asetettu muun muassa seuraavaa:

EU:n ilmasto- ja energiapolitiikasta annettiin merkittävä lainsäädäntöpaketti huhtikuussa 2009. Tämä niin kutsuttu 20-20-20-tavoite tarkoittaa, että vuoteen 2020 mennessä tulisi EU:n energiankulutuksesta 20 % saada uusiutuvista lähteistä, EU:n kasvihuonekaasupäästöjä tulisi vähentää 20 % sekä energiatehokkuutta lisätä 20 %. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2015.)

Myös jäähallit seuraavat rakentamisen kansallisia ja kansainvälisiä tavoitteita ja kehityssuuntia ja niiden suunnittelu, rakentaminen, ja korjaus toteutetaan niihin kohdistettujen rakentamismääräysten mukaan.

1.2 Jäähallit Suomessa

Suomeen on vuoteen 2015 mennessä rakennettu yli 220 jäähallia. Uusia halleja valmistuu noin viisi vuodessa. Suuri osa Suomen jäähalleista on kuitenkin rakennettu 90-luvulla ja lähivuosina korjaustarveikää lähestyy useampikin jäähalli. (Jäähalliportaali 2015.)

Jäähalleissa käytettävä tekniikka ja energiaa säästävät ratkaisut ovat kehittyneet vuosien saatossa. Vanhemmissa jäähalleissa energiatehokkuus on myös jo suunnitteluvaiheessa saattanut saada vähemmän painoarvoa.

Jäähallien energiatehokkuuden nykytilatutkimusraportin mukaan tavanomainen harjoitusjäähalli kuluttaa vuodessa sähköenergiaa noin 300–1000 MWh. Sähköenergiankulutus vastaa noin 16–54 tavanomaisen sähkölämmitteisen omakotitalon kokonaissähköenergiankulutusta (Vattenfall). Suuri osa jäähalleista käyttää lämmitysmuotona myös kaukolämmitystä, jolloin ostettavaa lämpöenergiaa kuluu jäähallista riippuen vuodessa noin 200–800 MWh. Vedenkulutus on noin 500–2000 m³ vuodessa jäähallia kohden. (Jäähalliportaali 2015.)

1.3 Energiakatselmus

Energiakatselmuksella tarkoitetaan raportoitua energiankäytön ja energian säästömahdollisuuksien kartoitusta. Katselmuksissa perehdytään kohteen nykyiseen energiankulutukseen ja selvitetään säästömahdollisuudet. (Motivan energiakatselmusesimerkki 2004, 2.)

Suomessa esimerkiksi valtion omistama Motiva Oy on suorittanut jäähalleihin energiakatselmuksia. Taulukossa 1 on havainnollistettu Motivan energiakatselmusesimerkissä (2004) esitettyjä jäähallien yleisimpiä säästökohteita. Katselmuksia oli suoritettu yhteensä 32 kappaletta ja yhteensä säästötoimenpiteitä löytyi 229 kappaletta. Tiedot ovat vuodelta 2004, joten kustannukset ja säästöt eivät vastaa nykyistä hintatasoa. Energiakatselmustoiminnalla havaitaan kuitenkin olevan mahdollista löytää suuriakin energiansäästökohteita.

Taulukko 1. Jäähalleihin suoritettujen energiakatselmuksien säästökohteita (Motivan energiakatselmusesimerkki 2004, 2).

Toimenpiteet	Toimen- piteiden lukumäärä	Säästöt yhteensä €/vuosi	Investoin- nit yhteensä €	Keskimääräinen takaisin-maksuaika, vuotta
Jäähdytykseen, jäänhoitoon ja jään lämpötilaan liittyvät toimet	42	109900	69000	0,6
Lauhdelämmön talteenotto	20	110000	353000	3,2
Valaistusmuutokset	29	52000	124000	2,4
Ilmanvaihdon lämmityksen säätötavat	18	21000	24000	1,1
Vesikalusteiden virtaaman rajoitus	20	22000	8000	0,4

Opinnäytetyössä suoritettiin energiakatselmuksen Tikkakosken jäähalliin. Tavoitteena oli löytää ratkaisuja kohteen energiatehokkuuden parantamiseen. Jäähalliin ostettavan sähkö- ja lämpöenergian määrää sekä käyttöveden kulutusta pyritään saamaan vähäisemmiksi esitetyillä toimenpide-ehdotuksilla.

Kohteeseen suoritettun energiakatselmuksen työvaiheita olivat

- työn vastaanotto ja aloituspalaveri työn tilaajan kanssa
- lähtötietojen kerääminen kohteesta (kulutustiedot, lämpötilat, LVI-piirustukset jne.)
- katselmukset kohteen tekniikasta ja liikuntapaikkahoitajien haastattelut
- kerätyn aineiston analysointi ja nykytilan selvitys
- toimenpide-ehdotusten laatiminen ja raportointi
- tulosten esittely ja työn luovutus.

Energiakatselmus tehtiin Suomen Jääkiekkoliiton Keskimaan olosuhdevaliokunnan toimeksiannosta. Valiokunta valitsi työn kohteeksi Tikkakosken jäähallin, sillä kohteen kaltaisia jäähalleja on Suomeen rakennettu useita. Energiatehokkuutta parantavia ratkaisuvaihtoehtoja voitaisiinkin todennäköisesti soveltaa myös muihin samankaltaisiin jäähalleihin.

1.4 Työn rakenne

Opinnäytetyönä suoritetun energiakatselmuksen kirjallinen tuotos on jaettu kuuteen eri tekstiosioon.

Jäähallien erityispiirteet -luvussa esitetään jäähallien erityisominaisuuksia rakennuksena. Yleisellä tasolla kerrotaan jäähallien energiankäytöstä, sekä jäähalleissa käytettävästä laiteteknisistä ratkaisuista. Luvussa tarkastellaan etenkin prosesseja, joihin jäähalli tarvitsee energiaa. Jäähallin energiatehokkuuteen keskeisimmin vaikuttavia tekijöitä sivutaan.

Tikkakosken jäähalli -osiossa keskitytään tarkastelemaan Tikkakosken jäähallia, sen energiankulutusta sekä esitellään hallissa käytössä olevaa laitetekniikkaa. Osiossa kuvataan kohteen energiankäytön nykytila eli esitetään mihin energiaa tarvitaan ja kuinka paljon. Energiankulutustietoja on kerätty hallin mitatuista tiedoista ja tarvittaessa arvioitu laskennallisesti kerättyjen lähtötietojen perusteella.

Toimenpide-ehdotukset -luvussa esitellään ja pohditaan lähtötietojen pohjalta erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja, joilla kohteeseen voitaisiin perustellusti aikaansaada nykytilaa parempi energiatehokkuus.

Kannattavuusarviointi -osiossa arvioidaan keskeisimmin energiatehokkuutta parantavien toimenpide-ehdotusten kannattavuutta taloudellisesta näkökulmasta. Laskelmista nähdään karkea arvio esimerkkiratkaisujen tuomista rahallisista säästöpotentiaaleista.

Tulosten yhteenveto -osiossa muodostetaan yhteenveto pohdituista toimenpide-ehdotuksista ja niiden tuomista säästömahdollisuuksista. Liitteessä kuusi esitetään myös yhteenvetona energiakatselmuksesta laadittu raportti.

Johtopäätökset – luvussa esitetään päätelmät työssä saaduista tuloksista jäähallien energiatehokkuuteen. Luvussa esitetään myös pohdintaa ja arviointia itse opinnäytetyöstä.

2 JÄÄHALLIEN ERITYISPIIRTEET

2.1 Energiatehokas jäähalli

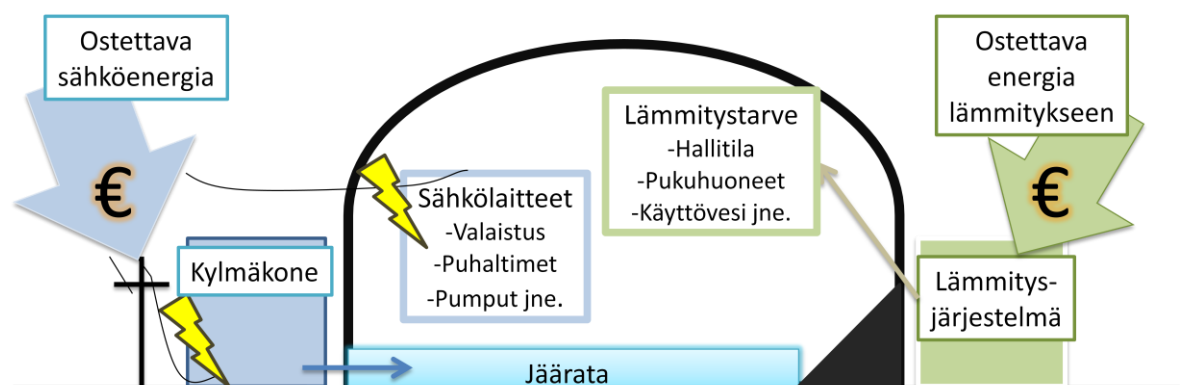
Energiatehokkuudella ja sen parantumisella tarkoitetaan:

energiatehokkuudella suoritteen, palvelun, tavarun tai energian tuotoksen ja energiapanoksen välistä suhdetta;

energiatehokkuuden parantamisella teknisistä, ihmisten käyttäytymiseen liittyvistä tai taloudellisista muutoksista johtuvaa energiatehokkuuden lisääntymistä (L 30.12.2014/1429, 1. luku, 3. §).

Energiatehokkuudella kuvataan siis rakennuksen energiankäytön hyötysuhdetta eli energialla tuotetun tuotteen tai palvelun suhdetta otettuun energiaan. Energiatehokkaassa rakennuksessa tarvittavat toiminnot suoritetaan tavanomaista alhaisemmalla energiamäärällä.

Energiatehokkaassa jäähallissa tarvittavan sähkö- ja lämpöenergian sekä käyttöveden määrä pyritään optimoimaan mahdollisimman pieneksi. Energiatehokkailla ratkaisuilla pyritään siis pienentämään jäähalliin ostettavan energian määrää. Energiatehokkuutta voidaan parantaa etenkin laitteistojen teknisillä muutoksilla ja kiinteistön paremmalla käytöllä. Jäähalleille tyypillisiä energiavirtoja ja -tarpeita on havainnollistettu kuviossa yksi.



KUVIO 1. Jäähallin energiankäyttötarpeita.

Jäähalleille asetettuja tavoitearvoja ovat etenkin jääurheilua palveleva jäänlaatu ja hyvä sisäilmasto, joka pitää sisällään muun muassa tilojen lämpötilatasot, ilman-
kosteuden, ilmanlaadun ja valaistuksen. Kaikki nämä halutut tavoitetasot tulisi
energiatehokkaassa jäähallissa voida toteuttaa mahdollisimman vähäisellä os-
toenergiankulutuksella. Taulukossa 2 on esitelty jäähalleille tyypillisiä tavoiteläm-
pötiloja katsomolle, jääalueelle ja jäälle.

Taulukko 2. Jäähallin lämpötilojen tavoitearvoja

(Jäähallit ja tekojäähallit 1999, 40–41).

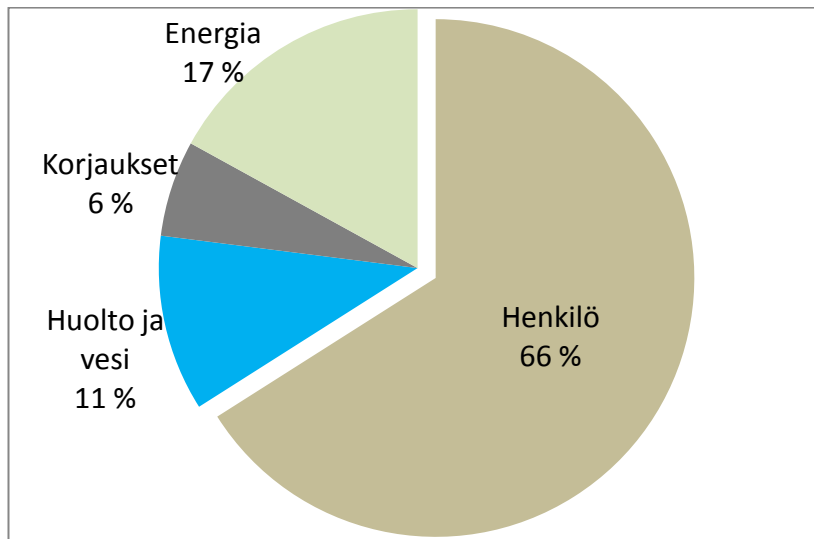
Jäähallin tavoitetasoja		Lämpötilat [°C]		
		Rata-alue (kor- keudelta 1,5m)	Katsomo	Jää (laa- tasta)
Pienikilpahalli				
	Jääkiekko			
	ottelu	+6	+15	-5
	harjoitus	+6	+15	-3
	Taitoluistelu			
	kilpailu	+12	+15	-4
Harjoitushalli				
	Jääkiekko			
	ottelu	+2...+6	+10	-3
	harjoitus	+2...+6	+10	-3
	Taitoluistelu			
	kilpailu	+6	+10	-3
	harjoitus	+6	+10	-3

Jäähallin sisäilman suhteellinen kosteus ei saisi yleensä ylittää raja-arvoa 70 %, jolloin myös ilmankuivaus on jäähalleissa tarpeen. Myös esimerkiksi valaistukselle Suomen Jääkiekkoliiton on asettanut erilaisia tavoite- ja ohjearvoja.

2.2 Energiankulutus jäähalleissa

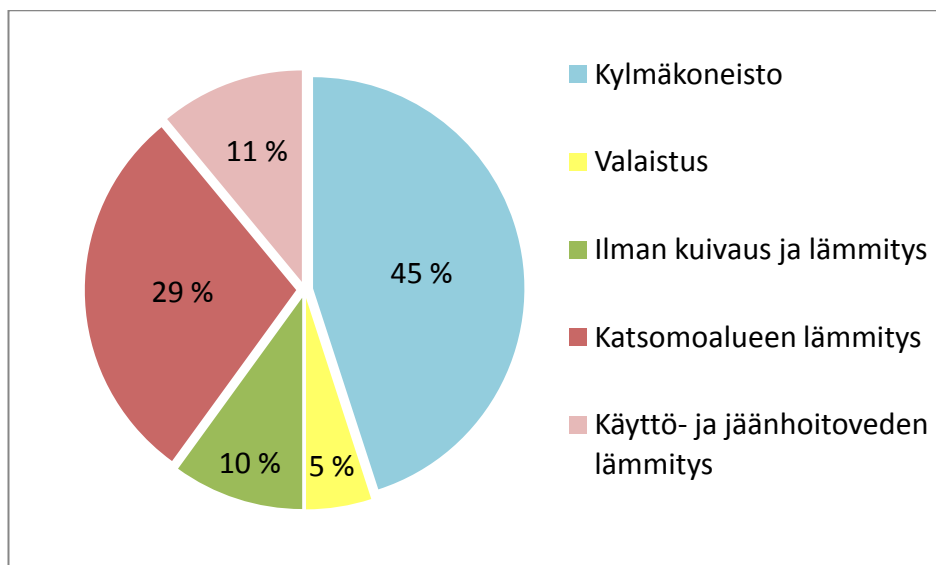
Jäähallien vuotuisista käyttökustannuksista noin yksi neljäsosa kuluu tarvittavaan energiaan ja käyttöveteen. Energiatohotomassa tai pienemmässä jäähallissa energian ja käyttöveden osuus vuotuisista käyttökustannuksista voi olla kuitenkin

huomattavasti suurempikin. Kuviossa kaksi on havainnollistettu vuotuisten käyttökustannusten jakaumaa jäähalleissa.



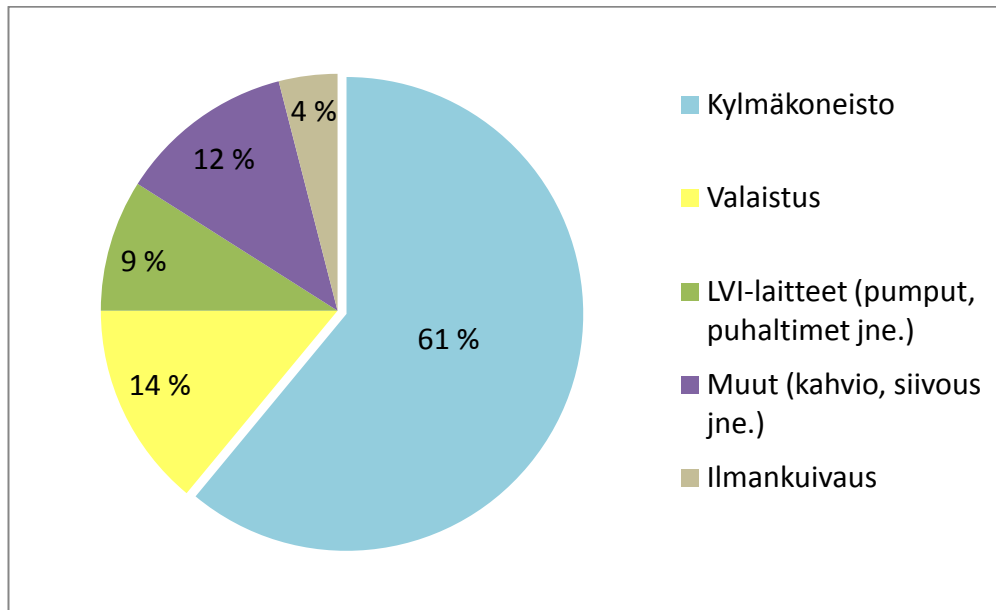
KUVIO 2. Jäähallin tavanomaiset vuotuiset käyttökustannukset (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 15).

Jäähallissa tarvittavasta kokonaisenergiasta suuri osa kuluu jään tekemiseen ja sen ylläpitämiseen. Myös tilojen sekä käyttö- ja jäänhoitoveden lämmittämiseen vaaditaan paljon energiaa. Kuviossa kolme havainnollistetaan karkeasti jäähallin kokonaisenergiantarpeen jakautumista.



KUVIO 3. Kokonaisenergiantarpeen suuntaa antava jakautuminen jäähallissa (Energie innovation).

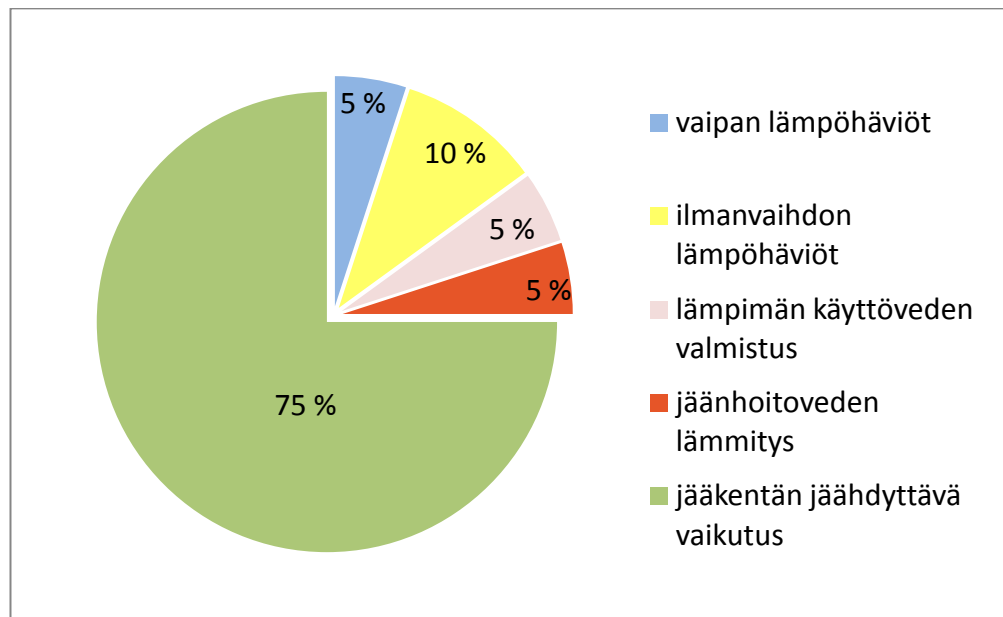
Sähköenergiaa tarvitaan jäähalleissa sähkölaitteiden toimintaan. Kylmäkoneisto kuluttaa jäähallin sähköenergiasta valtaosan ja voikin käyttää jopa yli puolet koko jäähallin tarvitsemasta sähköenergiasta. Myös muut talotekniset laitteet, kuten pumput ja puhaltimet sekä valaistus tarvitsevat paljon sähköenergiaa toimiakseen. Kuviossa neljä on havainnollistettu jäähalleille tyypillistä sähköenergian kulutusjakaumaa laitekohtaisesti.



KUVIO 4. Sähköenergian kulutusjakauma jäähallissa
(IIHF Technical guidelines 2011, 17).

Lämpöenergiaa tarvitaan jäähalleissa lämpimän käyttö- ja jäänhoitoveden lämmitämiseen ja halutun sisäilman lämpötilan ylläpitämiseen. Sisäilman lämpötilan ylläpitämiseen tarvitaan jäähallissa lämmitysenergiaa jääkentän jäähdyttävän vaikutuksen kompensointiin, vuoto- ja raitisilman lämmittämiseen sekä vaipan johtumislämpöhäviöihin.

Valtaosa tarvittavasta lämmitysenergiasta kuluu jääkentän aiheuttaman jäähdyttävän vaikutuksen kompensointiin. Lämmitysenergian tarvetta kuitenkin pienentävät jäähallissa hyödynnettävät lämpökuormat, kuten lämpökuormat ihmisistä ja valaistuksesta. Kuviossa viisi esitetään karkeasti lämpöenergian tarpeen jakautuminen harjoitusjäähallissa.



KUVIO 5. Lämmitysenergian tarpeen jakautuminen jäähallissa (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 97).

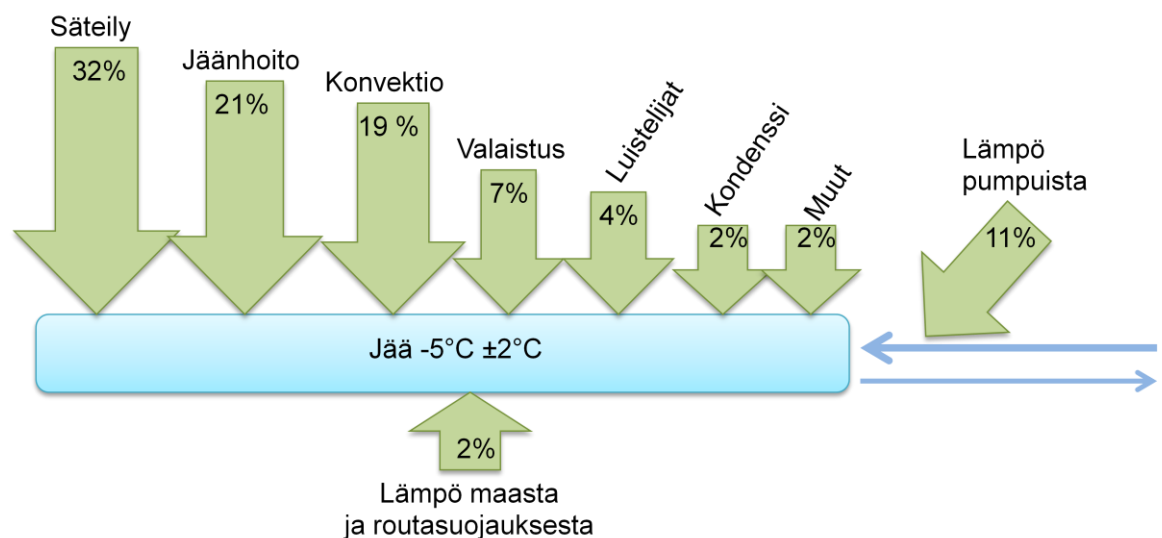
2.3 Jään teon teoria

2.3.1 Kylmätekniikka

Koska kylmäkoneisto voi kuluttaa jäähallin tarvitsemasta sähköenergiasta jopa yli puolet, on energiatehokkaassa jäähallissa kylmäkoneen sähköenergiankulutukseen kiinnitettävä erityistä huomiota. Kylmäkoneiston teknisillä ominaisuuksilla, säädöillä ja käytöllä on suuri merkitys koneiston energiankulutukseen. Myös jäähän kohdistuvien lämpökuormien minimointi sekä jään lämpötilan ja paksuuden optimointi on esiarvoisen tärkeää, jotta kylmäkone kuluttaisi mahdollisimman vähän sähköenergiaa.

Kylmätekniikan avulla tehdään ja ylläpidetään jäähalleissa käytettävää jäätä. Koska jään lämpötila on laatasta mitattuna yleensä noin $-5\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ja sisäilman lämpötila tätä korkeampi, joudutaan jäähalleissa käyttämään jatkuvasti kylmätekniikkaa lämpökuormien voittamiseen. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 8.)

Jäähän kohdistuva kokonaislämpökuorma muodostuu konvektiolämmönsiirrosta hallin ilman ja jään välillä, säteilylämmönsiirrosta pintojen välillä, jäähoidosta, valaistuksesta, pumppujen lämmönluovutuksesta, veden kondensoitumisesta jään pinnalle ja maan sekä luistelijoiden lämmönluovutuksesta. Kuviossa kuusi havainnollistettujen lämpökuormien prosentuaaliset osuudet kokonaislämpökuormasta on luettu käsikirjassa ASHRAE Handbook –Refrigeration (2010, kappale 44) olevasta tutkimuksesta. Tutkimus on suoritettu Edmontonin talviolosuhteissa ja sen mukaan ylivoimaisesti suurimmat jääkenttään kohdistuvat lämpökuormat aiheutuvat säteily- ja konvektiolämmönsiirrosta sekä jäähoidosta.



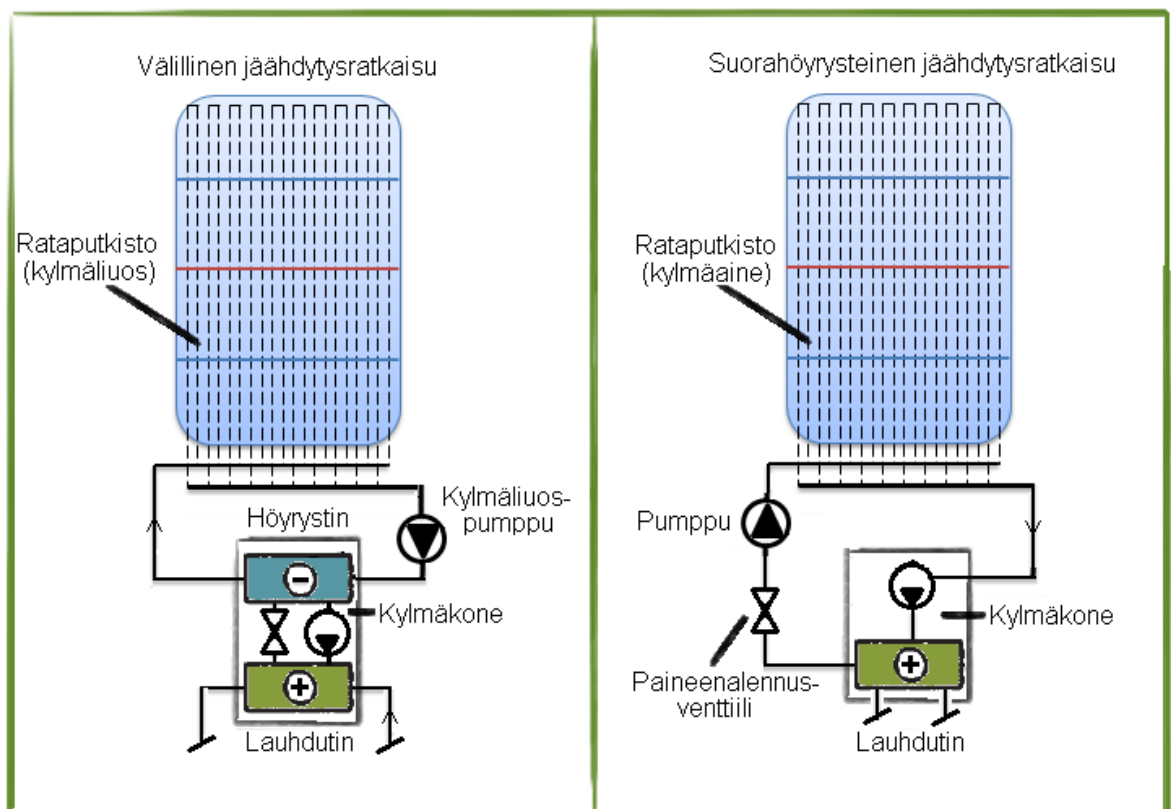
KUVIO 6. Jäähän kohdistuvat lämpökuormat.

Tarvittava kylmä tuotetaan käytännössä sähköenergian avulla ja samalla kylmäprosessissa vapautuu runsaasti lauhde-energiaa (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 8). Lauhde-energiaa on käsitelty tarkemmin luvussa 2.4.2.

Jäähallin jäähdytysjärjestelmä koostuu kylmäkoneesta, siirtoputkistoista, rataputkistosta ja vaadittavista apulaitteista, kuten pumpuista ja venttiileistä. Jäähdytys voi olla toteutettu välillisellä tai suora höyrysteisellä järjestelmällä. Välillisessä järjestelmässä kylmäkoneistolla jäähdytetään jään ylläpitoon ja tekoon tarvittava kylmäliuos. Kaukalon alla kiertävässä rataputkistossa liikkuva kylmäliuos sitoo it-

seensä energiaa kaukalon päällä olevasta jäähdytysvedestä ja aiheuttaa sen jäätymisen. Kylmäliuoksen tehtävänä on siis siirtää lämpöenergia jääradasta kylmäkoneen höyrystimessä liikkuvaan kylmäaineeseen. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 8 ja 54.)

Suorahöyrysteisessä järjestelmässä ei käytetä kylmäliuosta eikä erillistä höyrystintä tarvita, vaan kylmäaine höyrystyy suoraan rataputkistossa. Höyrstyessään kylmäaine sitoo lämpöenergiaa jääradasta. Kylmäkoneen lauhdutin siirtää tämän lämpöenergian lopulta lauhduttavaan ympäristöön, esimerkiksi ulkoilmaan. Kuviossa seitsemän on esitetty eri jäähdytysjärjestelmien periaatteet.



KUVIO 7. Välillisen ja suorahöyrysteisen jäähdytysjärjestelmän toimintaperiaate.

Suorahöyrsteinen jäähdytysjärjestelmä voidaan yleensä toteuttaa energiatehokkaammin välilliseen jäähdytysjärjestelmään verrattuna. Suorahöyrysteisessä järjestelmässä ei voida kuitenkaan käyttää kaikkia kylmäaineita, kylmäainetäytökset ovat suuria ja järjestelmän investointikustannukset verrattain korkeita. Yleisesti jäähalleissa käytetäänkin välillistä jäähdytysratkaisua. (IIHF Technical guidelines 2011, 26.)

2.3.2 Käytetyt kylmäaineet ja -liuokset

Kylmäaineen tehtävänä on toimia kylmäkoneessa lämmönsiirron väliaineena. Nykyisin Suomen jäähalleissa yleisimmin käytettyjä kylmäaineita ovat ammoniakki (NH_3) ja HFC-kylmäaine R404A. Ammoniakki on ympäristöystävällinen ja tehokas kylmäaine, mutta sen huonoja puolia ovat myrkyllisyys ja syttymisen mahdollisuus. Tästä syystä ammoniakkia käytetäänkin kylmäaineena pääasiassa välisessä järjestelmässä, jolloin vaadittava kylmäainetäyttö on rajattu kylmäkonekonttiin tai konehuoneeseen. (Laitinen, Nykänen & Paiho 2010, 12–20.) Kylmäainetilanne kuitenkin ”elää” koko ajan ja esimerkiksi kylmäaineena voi toimia myös muun muassa R290 eli propaani.

Yleisesti jäähallien käytössä olleen HCFC-kylmäaineen R22 (kloorifluorihilivety) käyttöä on lainsäädännöllä kielletty asteittain ja kylmäaine tulee kokonaan poistumaan markkinoilta. Syynä kieltoon on HCFC-kylmäaineiden haitallisuus ilmakehän otsonikerrokselle. (Laitinen ym. 2010, 15.)

Fluorihilivety R404A ei ole haitallinen otsonikerrokselle, mutta on voimakkaasti ilmakehää lämmittävä kasvihuonekaasu, joten senkin käyttöä tulevaisuudessa saatetaan hyvinkin tulla rajoittamaan. Tästä syystä myöskään R404A ei sovellu suoraan höyrysteiseen jäähdytysjärjestelmään, sillä aineen täytösmäärään halutaan olevan mahdollisimman pieni. Tulevaisuudessa kylmäaineena saatetaan jäähallien käytössä nähdä hyvin myös hiilidioksidi (CO_2), joka on ympäristöystävällinen ja turvallinen kylmäaine. (Laitinen ym. 2010, 12–20.)

Kylmäliuoksen tehtävänä on taas siirtää lämpöenergiaa jääkentästä kylmäkoneen höyrystimessä kiertävään kylmäaineeseen. Kylmäliuoksia käytetään usein myös välillisissä lauhdutuspiireissä, jossa kylmäliuos siirtää lämpöenergiaa lauhduttimelta lauhduttavaan ympäristöön, kuten ulkoilmaan tai lämminvesivaraajaan. (Laitinen ym. 2010, 21–22.)

Kylmäliuoksina käytetään yleensä jäätymättömien aineiden ja veden seoksia. Tarkoituksena on muodostaa jääradan alle soveltuva jäätymätön neste. Energiatehokkaalla kylmäliuoksella on alhaiset pumppauskustannukset ja hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet. Taulukossa kolme on esitetty jäähallikäytössä olevia kylmäainei-

ta ja niiden ominaisuuksia. Myös hiilidioksidia voidaan käyttää jäähalleissa kylmäliuoksena. (Laitinen ym. 2010, 21–22.)

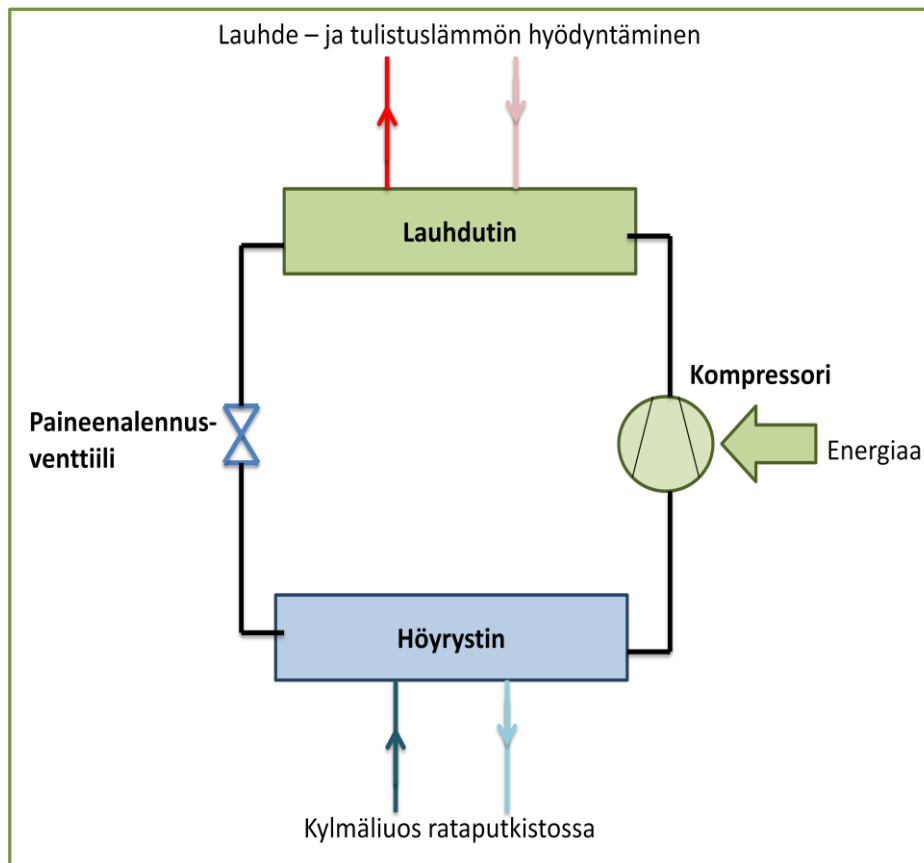
*Taulukko 3. Käytettyjen kylmäliuosten ominaisuuksia
(Laitinen ym. 2010, 22).*

Kylmäliuos	Käyttöominaisuuksia
Glykolit <ul style="list-style-type: none"> etyleeniglykoli propyleeniglykoli 	Korkeat pumppauskustannukset, huonot lämmönsiirto-ominaisuudet, helppokäyttöisiä
Suolat <ul style="list-style-type: none"> calcium cloridi (CaCl_2) 	Alhaiset pumppauskustannukset, hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet, käytettävyyys huono
Formiaatit <ul style="list-style-type: none"> kaliumformiaatti kaliumasetaatti 	Alhaiset pumppauskustannukset, hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet, ympäristöystävällisiä, korrosioagressiivisia, kalliita
Alkoholit <ul style="list-style-type: none"> etanoli 	Halpoja, huonohko energiatalous

2.3.3 Kylmäkoneen toiminta ja sen pääkomponentit

Termodynamiikan 2. pääsäännön mukaan lämpöenergia siirtyy luonnostaan aina korkeammasta lämpötilasta kylmempään. Jään teossa halutaan kuitenkin ottaa lämpöenergiaa kylmästä jääradasta ja siirtää se korkeampaan lämpötilaan. Tämän tekemiseksi prosessiin täytyy tuoda työtä, joka on käytännön tasolla kompressorin ottamaa sähköenergiaa. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 18.)

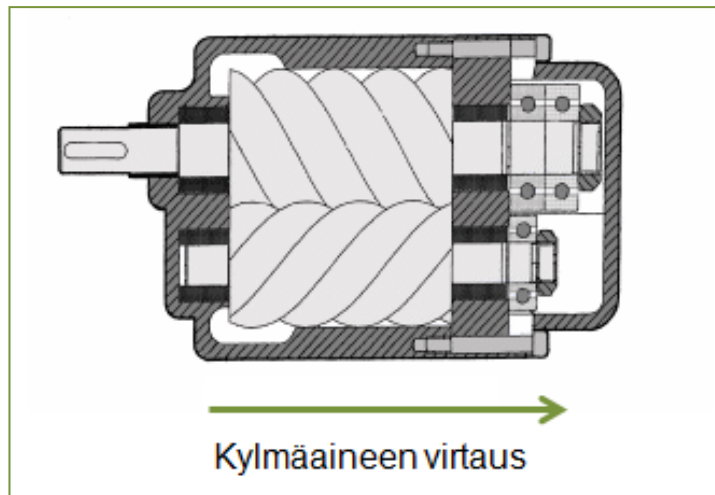
Itse kylmäprosessin toiminta perustuu kylmäkoneessa kiertävän kylmäaineen olo-
muotomuutoksiin. Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy alhaisessa lämpötilassa ja
paineessa samalla sitoen itseensä lämpöenergiaa kylmäliuoksesta. Höyrystimestä
kylmäaine imetään kompressorin, joka puristaa sähköenergian avulla kylmäaine-
höyryä korkeampaan paineeseen. Paineen nousun seurauksena myös höyryn
lämpötila nousee ja höyry tulistuu. Tulistunut höyry siirtyy seuraavaksi lauhdutti-
meen, jossa se tiivistyy jälleen nesteeksi. Lauhtuessaan takaisin nesteeksi kylmä-
aine luovuttaa sitomaansa lämpöenergiaa lauhduttavaan ympäristöön. Lauhdutti-
melta nestemäinen kylmäaine siirtyy paineenalennusventtiilille, jossa kylmäaineen
paine ja lämpötila laskevat. Tämän jälkeen kylmäainekierto voi alkaa jälleen alus-
ta. (Kaappola ym. 2011, 17–18.) Kuviossa kahdeksan on havainnollistettu kylmä-
koneen kylmäprosessia.



KUVIO 8. Kylmäprosessin toimintaperiaate.

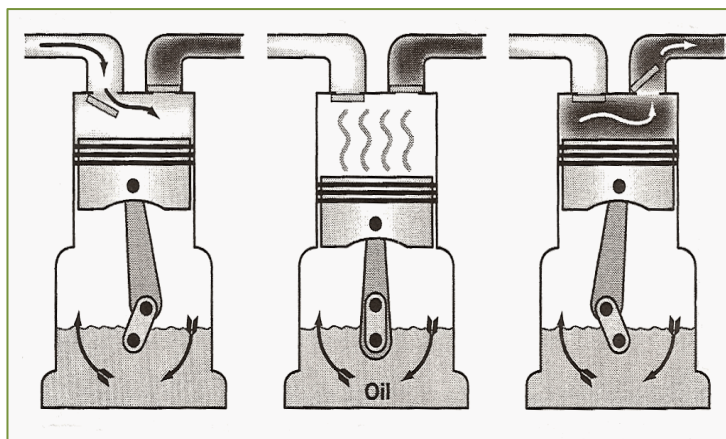
Kompressorityyppeinä jäähalleissa käytetään yleensä mäntä- tai ruuvikompresso-reita (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 54). Kompressorin tehtävänä on imeä höyrystynyt kylmäainekaasu höyrystimeltä ja nostaa sen painetasoa puris-tamalla niin, että saadaan aikaan tarvittava lauhtumislämpötila. Kompressorit saa-vat liikkeeseensä tarvittavan energian yleensä sähkömoottorin akselilta. (Kaappola ym. 2011, 51.)

Ruuvikompressoreissa kylmäaineen painetasoa korotetaan yleensä kahdella, toi-siaan vaste pyörivällä roottorilla (Kaappola ym. 2011, 54). Kuviossa yhdeksän havainnollistetaan höyryn siirtymistä ruuvikompressorissa imupuolelta painepuolel-le.



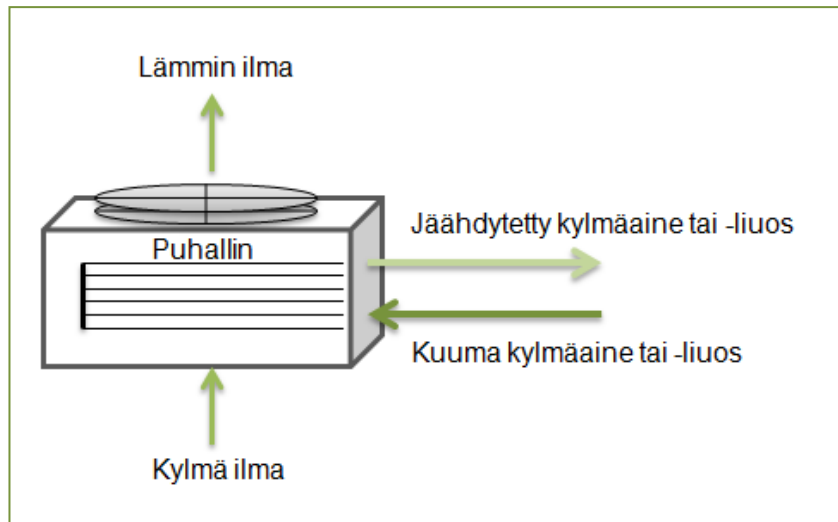
KUVIO 9. Ruuvikompressorin toimintaperiaate
(Engineer student 2012).

Mäntäkompressoreissa vastaava paineenkorotus tapahtuu sylinterissä liikkuvan männän avulla (Kaappola ym. 2011, 53). Kuviossa kymmenen on havainnollistettu mäntäkompressorin paineenkorotustapaa.



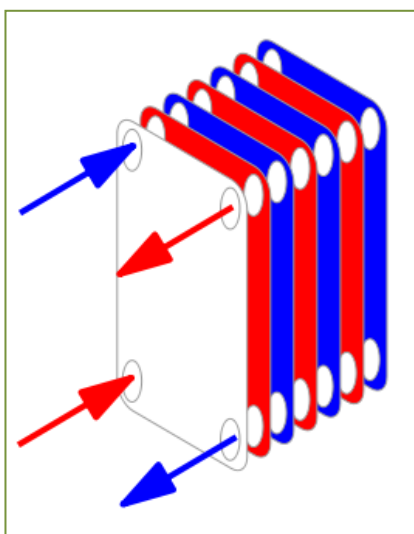
KUVIO 10. Mäntäkompressorin toimintaperiaate
(Technical Training Associates 2008).

Lauhduttimen tehtävä on ottaa vastaan tulistettu kylmäainehöyry ja lauhduttaa se takaisin nesteeksi. Lauhdutin siirtää kylmäaineen sitoman lämpöenergian lauhdutetaan ympäristöön. Jäähalleissa käytetään tavallisesti ilma- ja nestejäähdytteisiä lauhduttimia. (Nydal 2005, 60.) Ulkoilmalauhduttimen toimintaa on esitetty kuviossa 11.



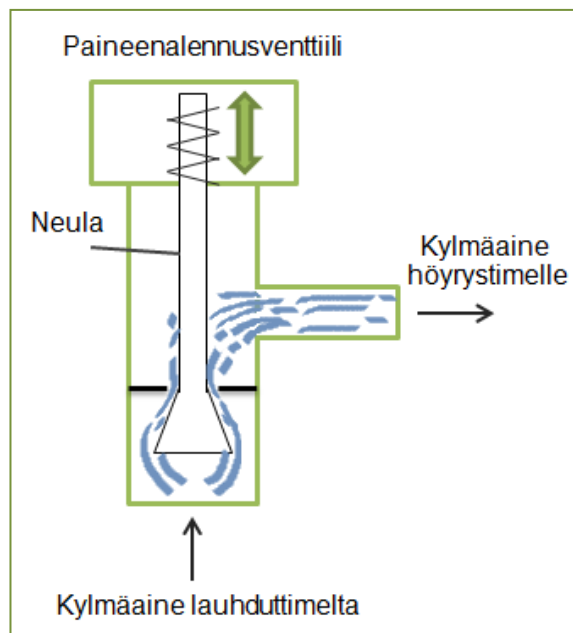
KUVIO 11. Ulkoilmalauhduttimen toimintaperiaate.

Nestejäähdytteiset lauhduttimet ovat esimerkiksi levylämmönsiirintyyppisiä tai moniputkilauhduttimia. Levylämmönsiirtimessä joka toisessa levyvälissä virtaa kylmäaine ja joka toisessa kylmäainehöyryn lämpöä sitova neste. (Kaappola ym. 2011, 55.) Levylämmönsiirtimiä voidaan käyttää esimerkiksi lauhdelämmön talteenottolauhduttimissa. Levylämmönsiirtimen toimintaperiaatetta on esitetty kuviossa 12.



KUVIO 12. Levylämmönsiirtimen toimintaperiaate.
(Wikipedia 2015).

Paineenalennusventtiilin tehtävä on käytännössä säätää kylmäaineen virtausta höyrystimelle. Kun jäähdytystehoa tarvitaan enemmän, paisuntaventtiili lisää kylmäaineen määrää höyrystimellä ja vastaavasti vähentää virtausta pienemmän kuormituksen aikana. Paisuntaventtiili pitää myös yllä paine-eroa matala- ja korkeapainepuolen välillä. Kylmäaineen virtaamaa voidaan ohjata esimerkiksi automaattisesti tai termostaattisesti säätävällä paisuntaventtiilillä. (Nydal 2005, 107.) Paisuntaventtiilin toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuviossa 13.



KUVIO 13. Paisuntaventtiilin toimintaperiaate.

Höyrystimen tehtävä kylmäkoneessa on ottaa vastaan jääkenttään kohdistuva lämpökuormitus. Kylmäaineen tulee höyrystyä kylmäliuosta matalammassa lämpötilassa, jotta kylmäaine höyrystyessään voi sitoa lämpöenergiaa. Välillisissä jäähdytysratkaisuissa voidaan käyttää esimerkiksi levylämmönsiirrin-tyyppisiä höyrystimiä. (Kaappola ym. 2011, 59–60.)

2.3.4 Kylmäkerroin ja kompressorin sähköenergiankulutus

Kylmäkerrointa eli COP-lukua käytetään arvioitaessa kylmäkoneen suorituskykyä. Mitä suurempi kylmäkerroin on, sen paremmalla hyötysuhteella kylmäkone toimii. Luku siis kuvaa tuotetun jäähdytystehon tai -energian suhdetta otettuun sähkötehoon tai -energiaan. Esimerkiksi kylmäkertoimella 3 kylmäkone tuottaa jäähdytysenergiaa 60 kW:n teholla ja ottaa sähköverkosta sähköenergiaa 20 kW:n teholla. Kylmäkerroin voidaan selvittää monella eri tavalla, kuten laskennallisesti tai mittauksin. Kylmäkerrointa voidaan laskennallisesti arvioida esimerkiksi seuraavalla kaavalla (D5 2012, 56):

$$\text{COP} = \frac{\phi_{\text{anto}}}{\phi_{\text{otto}}} \quad (1)$$

jossa COP on kylmäkoneen tai kompressorin kylmäkerroin

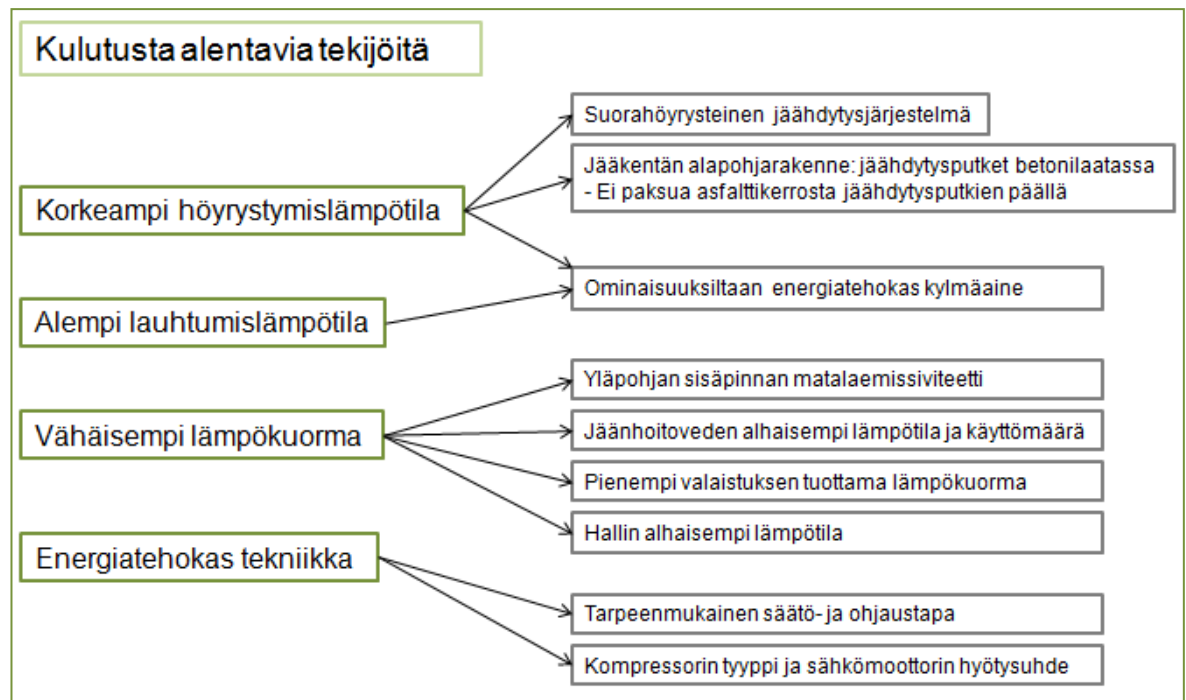
ϕ_{anto} on koko kylmäkoneen tai kompressorin tuottama jäähdytysteho tai -energia, kW tai kWh

ϕ_{otto} on koko kylmäkoneen tai kompressorin sähköverkosta ottama sähköteho tai -energia, kW tai kWh

Kylmäkerroin määritetään yleisesti pelkälle kompressorille. Koko kylmäkoneen kylmäkertoimesta puhuttaessa siihen vaikuttavat kaikkien kylmäkoneiston komponenttien, kuten kylmäliuospumpun, kompressorin ja lauhdutinpuhaltimien sähköverkosta ottama sähköenergia. Kylmäkerrointa voidaan kuvata myös koko jäähdytyskauden keskimääräisenä kylmäkertoimena eli SEER-lukuna.

Kompressorin sähköenergiankulutusta voidaan jäähallien tapauksissa vähentää vähäisemmällä jäähän kohdistuvalla lämpökuormalla, korkeammalla kylmäaineen lauhdutuslämpötilalla sekä alemmalla lauhtumislämpötilalla (LVI 61-10124/1989, 2).

Kylmäkoneen suunnittelu ja mitoitus ovat myös avainasemassa kylmäkoneen energiatehokkuudessa. Kompressorin sähköenergiankulutukseen vaikuttavatkin hyvin monet eri tekijät ja niistä muutamia keskeisimpiä on esitetty seuraavassa kuviossa 14.



KUVIO 14. Kompressorin sähköenergiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä.

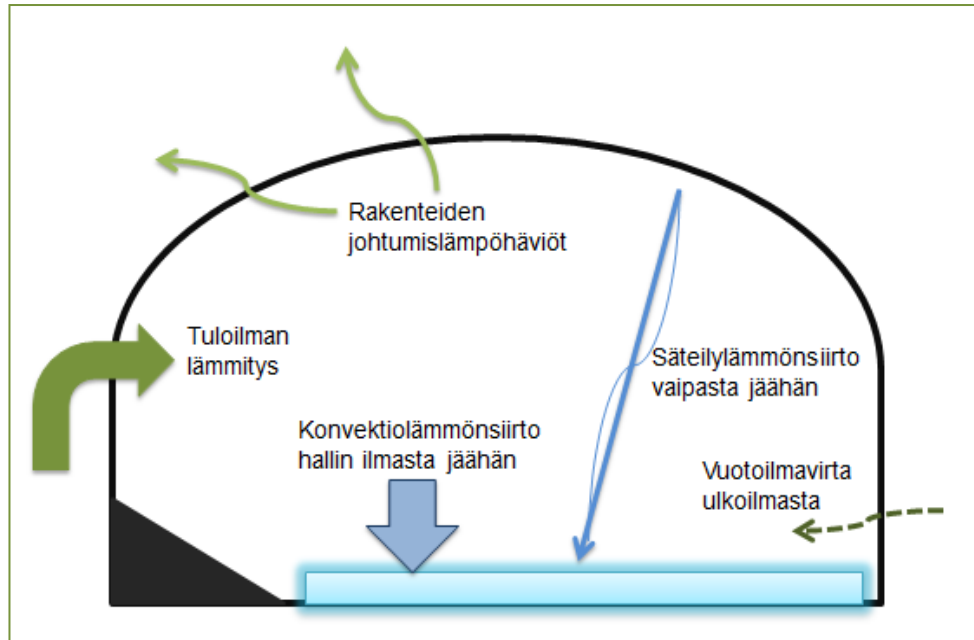
2.4 Lämmitysjärjestelmä

2.4.1 Lämmitysmuodot ja lämmönjakotavat

Lämmitysenergian tarve voi olla jopa puolet jäähallin kokonaisenergiatarpeesta. Jäähallin lämmitysjärjestelmällä lämmitetään lämmin käyttö- ja jäänhoitovesi sekä luodaan tavoitetason mukainen sisälämpötila. Sisälämpötilalla vaikutetaan etenkin ihmisten viihtyvyyteen sekä jäähallin kosteustekniseen toimivuuteen. Harjoitusjäähallin sisälämpötilaksi suositeltava lämpötila on hallialueella $+5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 7.) Jäähallin sosiaalitilat ovat kuitenkin lämpimiä tiloja, joiden tavoite sisälämpötilalle on yleensä 21 °C . Katsomoalueen lämpötila on yleensä noin $+10\text{...}+15\text{ °C}$.

Jäähalli on siitä erityinen rakennus, että samaan aikaan hallitilassa on usein jäähdytyksen ja lämmityksen tarve. Hallitilan lämmitys vaatiikin yleensä eniten lämmitysenergiaa, sillä sitä tarvitaan paljon jääradan jäähdyttävän vaikutuksen kompensointiin. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 97.) Jääradan jäähdyttävän vaikutuksen aiheuttavat konvektiolämmönsiirto hallin ilmasta jäähän sekä läm-

pösäteily vaipan pinnasta jäähän. Hallitilan lämpöenergiantarve koostuu myös rakenteiden kautta johtuvasta lämpöenergiasta sekä vuoto- ja tuloilman lämmitysenergiantarpeesta. (Laitinen ym. 2010, 59.) Lämmitysenergiantarpeita on havainnollistettu kuviossa 15.



KUVIO 15. Lämpöenergiantarpeen muodostavat tekijät hallitilan lämmityksessä.

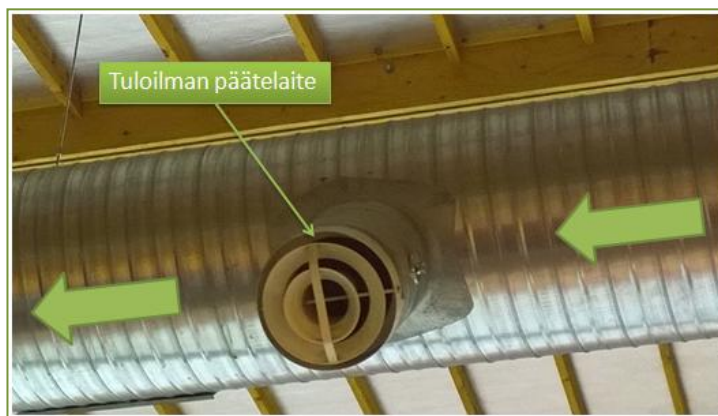
Yleisimpiä jäähalleissa käytäviä lämmitysmuotoja ovat kauko- ja lauhdelämpö, mutta myös erilaiset sähkövastuslämmitykset, lämpöpumppuratkaisut ja kattilalaitokset voivat soveltua käytettäviksi. Yleisimpiä lämmönjakotapoja ovat ilmalämmitys ja vesikiertoiset lämmitysjärjestelmät, joista tavanomaisimpia ovat lattia- ja patterilämmitys. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 46–47.) Taulukossa neljä on esitetty suuntaa antavia, suurimman lämmitystarpeen mukaisia menoveden lämpötiloja eri lämmönjakotavoille.

Taulukko 4. Menoveden mitoituslämpötiloja lämmönjakotavoittain.

Lämmönjakotapa	Menoveden mitoituslämpötila
Vesikiertoinen patterilämmitys	n. 70 °C
Ilmalämmitys	n. 70 °C
Vesikiertoinen lattialämmitys	n. 30 °C

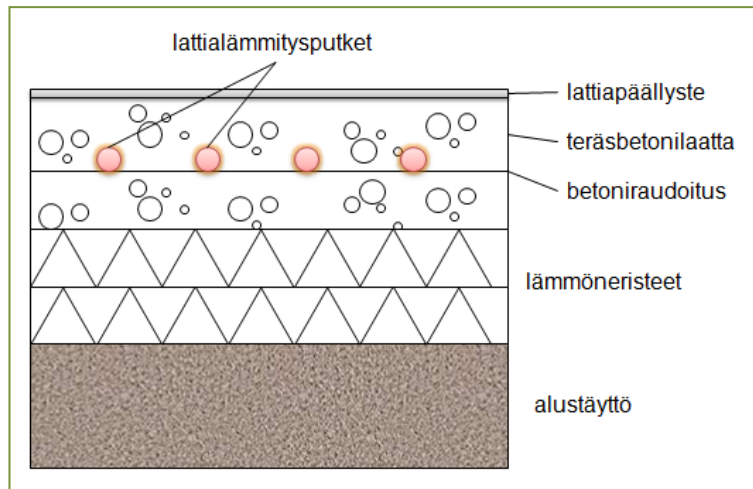
Vesikiertoisessa patterilämmityksessä lämmitettävässä tilassa olevaan lämmityspatteriin tuodaan lämmitysputkien avulla lämmönjakohuoneessa lämmitettyä lämmönsiirtonestettä. Lämmityspatterissa kiertävä lämmitetty neste luovuttaa lämpöä lämmitettävään tilaan ja haluttua sisälämpötilaa voidaan näin ylläpitää.

Ilmalämmityksessä puolestaan tuloilmaa lämmitetään ilmanvaihtokoneessa olevilla lämmityspattereilla. Lämmitetty lämmönsiirtoneste luovuttaa IV-patterissa lämpöenergiaa tuloilmaan. Lämmitetty tuloilma jaetaan runkokehän kautta päätelaitteille, jotka puhaltavat lämmintä tuloilmaa lämmitettävään tilaan. Ilmalämmitystä käytetäänkin jäähalleissa yleisesti etenkin jäähallin katsomo-osan lämmityksessä. Kuvassa yksi on esitetty katsomoalueen ilmalämmityksen toimintaperiaatetta.



KUVA 1. Katsomoon suunnattu tuloilman päätelaite.

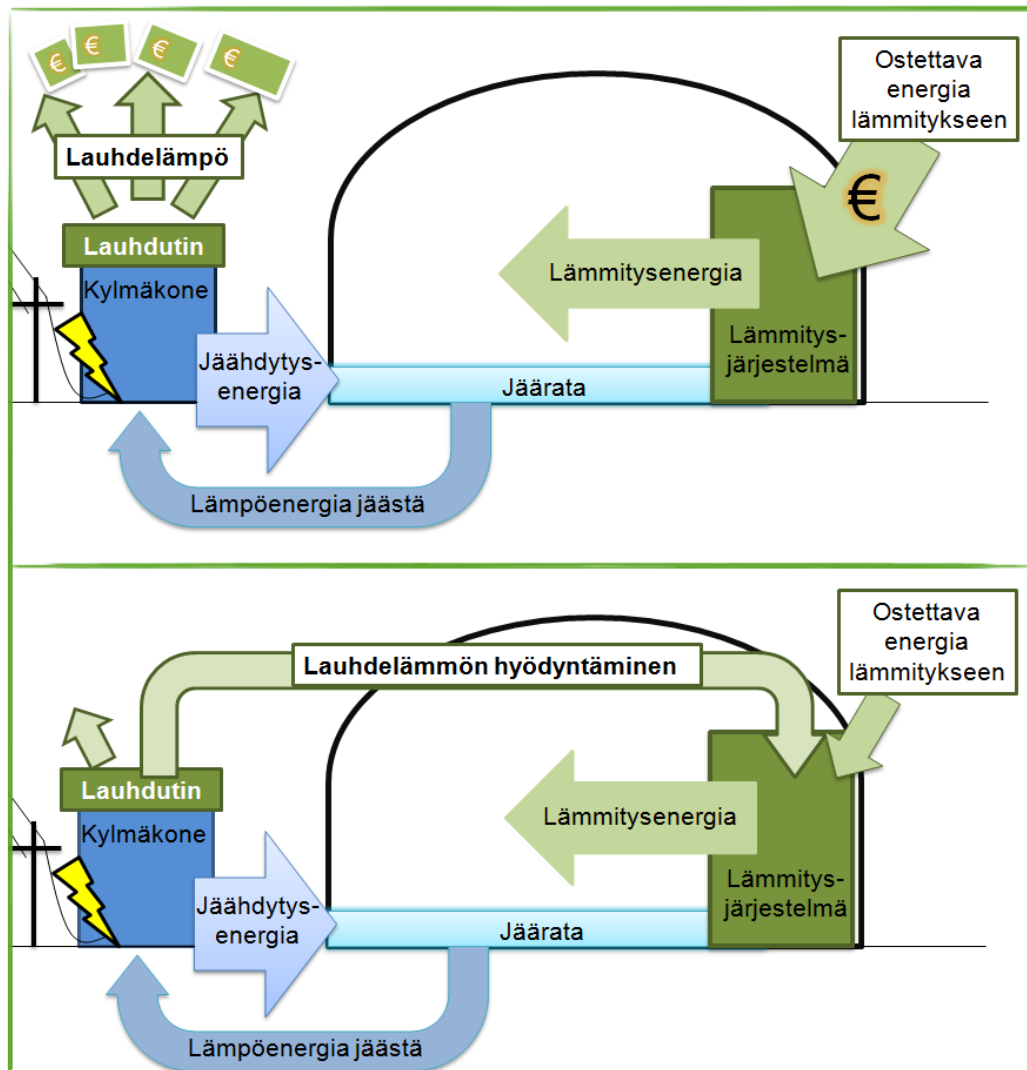
Lattialämmitys perustuu lattiarakenteessa kiertävän lämpimän veden luovuttamaan lämpöenergiaan. Lattialämmityspiiriin tarvitaan verrattain alhaista menoveden lämpötilaa, sillä lattialämmityksessä lämmönluovutuspinna-ala on verrattain suuri. Lattialämmitystä voidaan käyttää esimerkiksi halli- ja sosiaali-tilojen lämmitykseen. Esimerkkiratkaisu lattialämmityksen toteuttamisesta on esitetty kuviossa 16.



KUVIO 16. Esimerkki lattialämmitysratkaisusta
(LVI 13-10261/1996, 8).

2.4.2 Lauhdelämmön hyödyntäminen

Energiatehokkaan jäähallin yksi keskeisimmistä kriteereistä on lauhde-energian mahdollisimman tehokas hyödyntäminen. Lauhdelämpöä hyödyntämättömissä jäähalleissa onkin suuri energiansäästöpotentiaali. Harjoitusjäähalleissa lauhde-energiaa vapautuu usein riittävästi kattamaan koko jäähallin lämmitysenergian tarve. Suurempien jäähallien lämmitystä voidaan joutua täydentämään mahdollisesti myös muilla lämmitysmuodoilla. Kylmäprosessissa vapautuvaa lauhdelämpöä voidaan pitää jäähalleissa lähes ilmaisenergiana, sillä sitä syntyy jään tekoon ja sen ylläpitoon vaadittavan kylmäprosessin ”sivutuotteena”. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 45.) Lauhdelämmön hyödyntämisen periaatetta on havainnollistettu kuviossa 17.



KUVIO 17. Lauhdelämmön hyödyntämisen periaatekaavio.

Hakala ja Kaappola (2007, 211) esittävät, että kylmäkoneen tuottama lauhde-energia koostuu

- tulistuslämmöstä (10–20 %)
- lauhdelämmöstä (80–90 %)
- alijäähdytyksestä (0-5 %).

Valtaosa lauhde-energiasta saadaan siis lauhdelämpönä. Lauhdelämmön lämpötilataso on kuitenkin matala, yleensä noin +25...+30 °C. Tämä hieman rajaa sen suoraa hyödyntämismahdollisuutta lämmitykseen. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 98.) Kylmäkoneen lauhtumislämpötilan nosto ei myöskään yleensä

ole kannattavaa, sillä se heikentää kylmälaitoksen kylmäkerrointa. Yhden celsiusasteen nosto heikentää kylmäkerrointa noin 3 %. (Hakala & Kaappola 2007, 211.)

Lauhdelämpö soveltuu kuitenkin erittäin hyvin hyödynnettäväksi sellaisenaan matalaa lämpötilaa vaativiin lämmitysjärjestelmiin, kuten esimerkiksi lattialämmitykseen. Mitoitustilanteessa tarvittava lämpötila lattialämmityspiirin menovedelle on tyypillisesti noin +25...+35 °C, riippuen muun muassa lattiarakenteesta. Lauhdelämpöä voidaan käyttää lattialämmityksen lisäksi hyvin hyödyksi myös esimerkiksi ilmanvaihdon lämmityspattereissa, käyttö- ja jäänhoitoveden esilämmityksessä sekä routasuojausjärjestelmässä.

Tulistuslämmön lämpötila riippuu paljon esimerkiksi käytetystä kompressorityypistä ja kylmäaineesta. Mäntäkompressorilla tulistuslämmön lämpötila on noin +70...+100 °C, jolloin sitä voidaan hyvin hyödyntää esimerkiksi käyttöveden ja patteriverkoston menoveden lämmityksessä. Ruuvikompressoreilla tulistuslämmön lämpötilataso jää yleensä paljon alhaisemmaksi. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 55.)

Lämpöpumppujärjestelmillä pystytään myös entisestään tehostamaan lauhdelämmön talteenottoa. Lämpöpumpuilla voidaan nostaa lauhdelämmön lämpötilaa, jolloin sen hyödyntämismahdollisuus kaikkiin lämmitysjärjestelmiin paranee. Suhteellisen vähäisellä sähköenergian määrän lisäyksellä voidaan saada käyttöön paljon lämmitysenergiaa. (Motiva lauhdelämmön talteenotto 2012, 10.)

Jäähallin omasta lauhteen hyödyntämisestä ylijäävä lauhdelämpö voidaan mahdollisuuksien mukaan myös myydä hyötykäyttöön hallin lähellä oleviin rakennuksiin, esimerkiksi uimahalliin käyttöveden esilämmitykseen.

2.5 Käyttö- ja jäänhoitovesi

Jäähalleissa vettä tarvitaan etenkin jäänhoitovetenä jäänhoitoon sekä käyttövetenä sosiaalitoimintoihin. Käytetyn lämpimän veden lämmitykseen kuluu noin yksi kymmenesosa jäähallin kokonaisenergiankulutuksesta. Kokonaisvedenkulutuksesta jäähallin osuus on yleensä suurin pienemmissä halleissa.

Lämmin käyttövesi lämmitetään yleensä noin +55 °C:seen. Käyttöveden kulutukseen sosiaalitoimintoihin voidaan vaikuttaa vesikalusteiden valinnoilla ja niiden ominaisuuksilla, kuten virtaamaa rajoittamalla. Käyttövesiverkoston oikealla painesäädöllä paineenalennusventtiilin avulla voidaan myös pienentää vedenkulutusta. Käytöllä on myös suuri merkitys veden kulutuksessa.

Jäänhoitovedellä pidetään jääkenttä jääurheilua varten hyvässä kunnossa. Jäänhoitovesi levitetään kentän päälle erillisellä jäänhoitokoneella, jolloin jäätä tarvittaessa myös samanaikaisesti höylätään. Käytetty jäänhoitoveden määrä ja sen lämpötila vaikuttavat energiankulutukseen. Mitä enemmän vettä käytetään ja mitä lämpöisempää se on, sitä enemmän tarvitaan kylmäkoneistolta jäähdytysenergiaa veden jäädyttämiseen. Lämpimän jäänhoitoveden lämmitys kuluttaa lisäksi myös lämpöenergiaa.

Jäänhoitovettä käytetään yhden jäänhoitokerran aikana tyypillisesti noin 300–800 litraa yhtä jäärataa kohden ja käytetyn veden lämpötila voi vaihdella käyttötilanteesta riippuen paljonkin välillä +5...+55 °C. Jäänhoitovedellä pyritään aikaansaamaan mahdollisimman hyvälaatuinen jää jääurheiluun, jolloin käytetyn vesimäärän sekä sen lämpötilan optimointi vaatiikin usein kokeellisen lähestymistavan. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 64.)

Asiantuntijalausunnon mukaan jäänhoitoveden suosituslämpötila on noin +30...+40 °C. Alhaisimmillaan jääurheiluun soveltuvaa jäätä on saatu aikaan jäänhoitoveden lämpötilan ollessa vain noin +20 °C. Suositus ajokerrallaan jääkenttään levitettäväksi vesimääräksi on noin 300–500 l. (Paavola 2015.) Jäänhoitokone nähdään kuvasta kaksi.



KUVA 2. Jääkentän huolto jäänhoitokoneella.

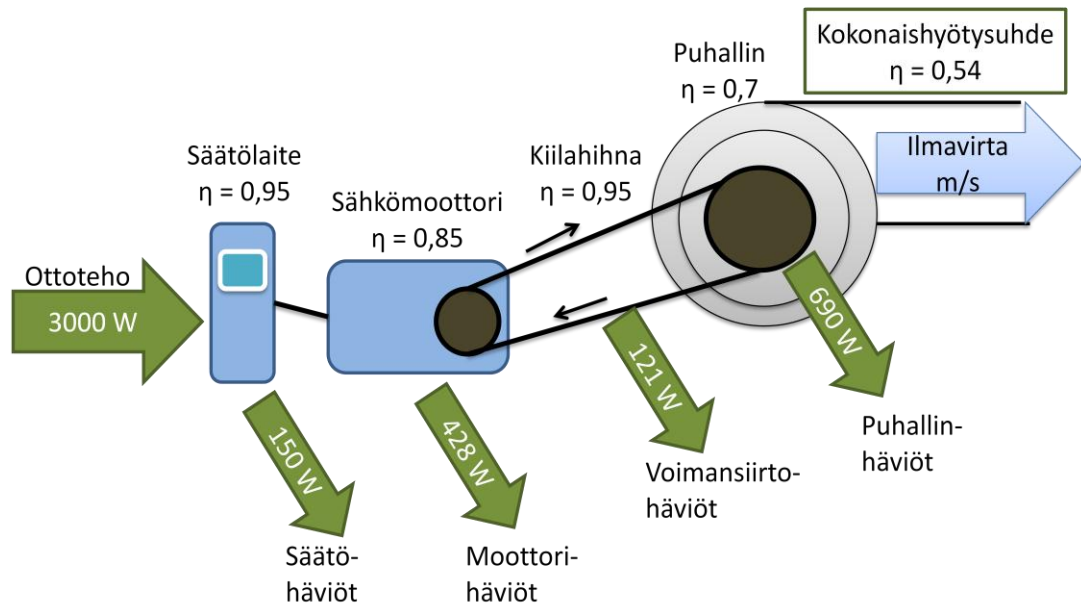
2.6 Ilmanvaihto

2.6.1 Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihdolla hallitaan jäähallin sisäilmastoa. Ilmanvaihdolla vaikutetaan etenkin kosteudenhallintaan, rakenteiden kestävyYTEEN, ihmisten terveyteen ja viihtyvyyteen sekä sillä voidaan siirtää lämmitysenergiaa.

Ilmanvaihto kuluttaa sähköenergiaa puhaltimien ja apulaitteiden toimintoihin. Myös ilman kuivaus ja lämmitys kuluttavat jäähalleissa energiaa. Ilmanvaihdon ja ilman-kuivauksen yhteinen energiankulutus on noin kymmenesosa jäähallin kokonais-energiankulutuksesta.

Sähköenergiankulutukseen voidaan puhallinkäytössä vaikuttaa varsinkin laitteistovalinnoilla ja säädöillä. Puhallinkäytön kokonaishyötysuhteeseen vaikuttavat etenkin valitun säätölaitteiston, sähkömoottorin, voimansiirron ja puhaltimen hyötysuhde. Mitä parempi kokonaishyötysuhde puhallinkäytöllä on, sen vähemmän sähköenergiaa kuluu tarvittavan ilmamäärän liikuttamiseen. Puhallinkäytön sähkötehon tarpeita ja hyötysuhteeseen vaikuttavia tekijöitä on esitetty kuviossa 18.



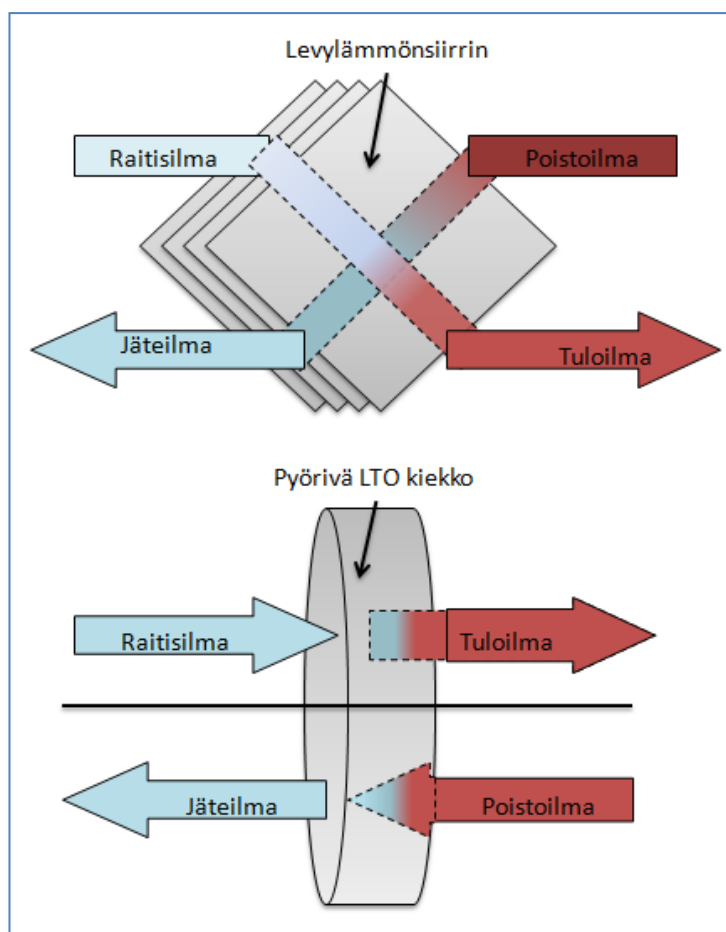
KUVIO 18. Sähkötehon tarve ja häviöt puhallinkäytössä.

Ilmanvaihdon sähkötehokkuutta voidaan kuvata ominaissähköteholla, SFP-luvulla (specific fan power), joka kertoo, paljonko sähkötehoa tarvitaan yhden ilmakeuution liikuttamiseen sekunnissa, $\text{kW}/(\text{m}^3\text{s})$. Mitä pienempi SFP-luku on, sen energiatehokkaampi ilmanvaihtokone on kyseessä. (SFP-opas 2004, 5.) Rakentamismääräysten (D5 2013, 52) mukaan ominaissähköteho saa nykyisissä koneellisissa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmissä olla enintään $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3\text{s})$ ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä enintään $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3\text{s})$.

Ilmanvaihto mitoitetaan jäähalleissa yleensä käyttötarkoituksen ja suurimman sallitun henkilömäärän mukaan. Energiaa säästään ilmanvaihtoa tulisikin voida ohjata ja säätää todellisen tarpeen mukaan tilakohtaisesti, sillä tavanomaisessa käytössä halleissa tarvitaan yleensä vain vähäinen määrä mitoitettun ilmanvaihtotarpeen mukaisista ilmamääristä. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 9.) Myös ilmanvaihtokoneen käyntiaikoja tarkastelemalla ja muuttamalla voidaan saavuttaa parempi energiatehokkuus.

Jäähalleissa puolilämpimät ja lämpimät tilat jaetaan usein eri ilmanvaihto-osastoiksi, jolloin eri ilmanvaihtokoneet hoitavat omat osastonsa (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 9).

Lämpimän tuloilman virtauksen kohdistamista suoraan jäärataan olisi vältettävä, jotta konvektiolämmönsiirto hallin ilmasta jäähän olisi mahdollisimman vähäistä. Energiatehokas ilmanvaihtokone tulisi olla varustettu myös lämmöntalteenotolla. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 57.) Lämmöntalteenottolaitteella otetaan lämpöenergiaa poistoilmasta ja siirretään se tuloilmaan. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto voidaan toteuttaa nestekiertoisena, levylämmönsiirtimin tai pyörivän lämmöntalteenoton avulla. Nestekiertoisessa järjestelmässä lämpö siirtyy pattereissa kiertävän lämmönsiirtonesteen avulla poistoilmasta tuloilmaan. Muita tapoja havainnollistetaan kuviossa 19.



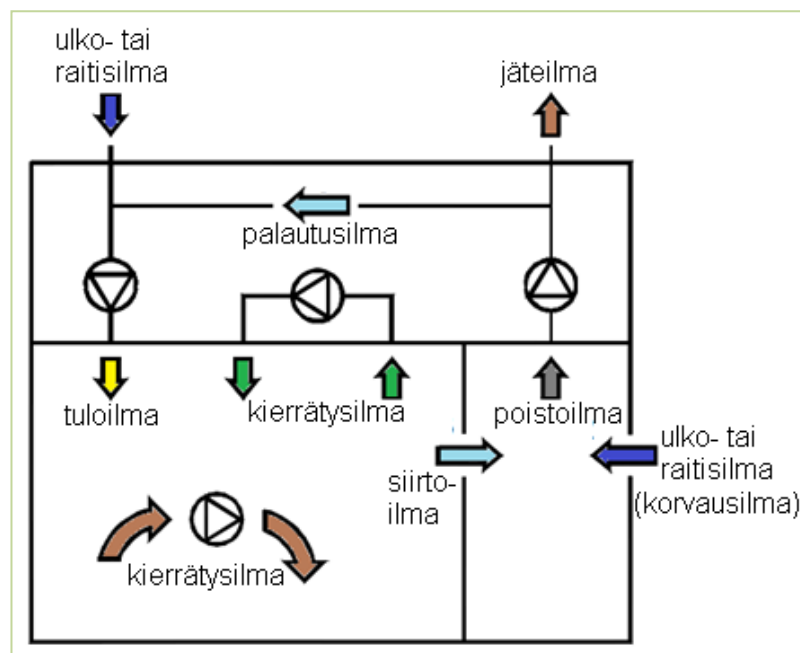
KUVIO 19. Ilmanvaihdon LTO-ratkaisuja.

Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on rakentamismääräyksissä kiristynyt. Nykyään ilmanvaihtokone tulee rakentamismääräysten (D3 2012, 15) mukaan varustaa lämmöntalteenotolla, jonka vuosihyötysuhde on oltava vähintään 45 %. Taulukosta viisi havaitaan rakennusmääräysten kiristyminen.

Taulukko 5. LTO-laitteen vuosihyötysuhde rakennusmääräyksissä (Rakentamismääräykset).

Rakennuslupamenettely	1985-	2003-	2008-	2010-	2012-
Vuosihyötysuhde vähintään	0%	30%	30%	45%	45%

Kuviossa 20 on havainnollistettu ilmanvaihdon puhuttavien ilmavirtojen nimien tarkoitusta.

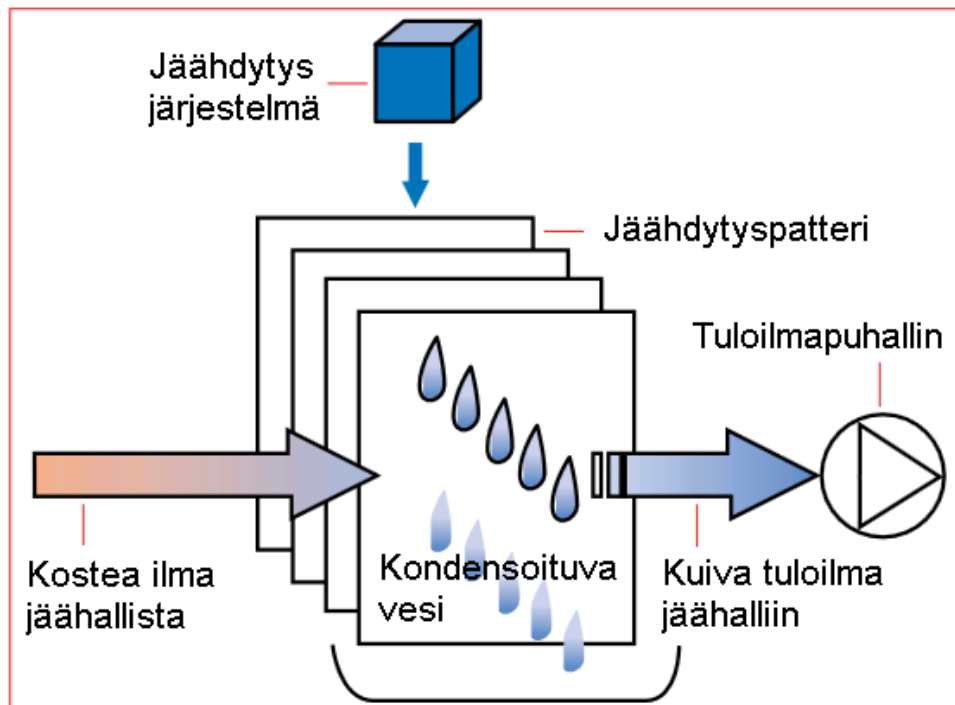


KUVIO 20. Ilmavirtojen nimitykset (Alkuperäinen kuva: D2 2012, 4).

2.6.2 Ilmankuivaus

Kosteuden hallinta on jäähalleissa tärkeää viihtyvyyden, rakenteiden sekä energia-
tehokkuuden kannalta. Matalan sisälämpötilan ja hallin suuren tilavuuden seura-
uksena jäähalleissa voi esiintyä kosteusongelmia. Halliin syntyy runsaasti kosteut-
ta jäähallin käytöstä ja sään mukaan myös ulkoilmasta. Hallin käyttö kesäajalla
jääturheiluun lisää merkittävästi kuivauksen tarvetta. (Jäähallien lämpö- ja kosteus-
tekniikka 2007, 8–9.)

Kuivureina käytetään yleensä kondenssi- tai sorptiokuivureita. Sorptiokuivan sitoo käsiteltävästä ilmasta kosteutta pyörivän kennostonsa avulla. Kennosto siirtää kosteuden tuloilmasta ulos johdettavaan jäteilmaan. Kondenssikuivauksen toiminta taas perustuu ilman kykyyn sitoa vesihöyryä. Mitä kylmempää ilma on, sitä vähemmän se voi sitoa vesihöyryä. Kondenssikuivauksessa ilmaa jäähdytetään jäähdytyspatterin avulla, jolloin ilmasta kondensoituu vettä ja ilma kuivuu. Tarvittava jäähdytys voidaan tuottaa esimerkiksi ilmanvaihtokoneeseen liitetyllä erillisellä kylmäkoneella. Tällöin höyrystin toimii jäähdytyspatterina ja lauhdutin tuloilman lämmityspatterina. Kondenssikuivauksen toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuviossa 21.



KUVIO 21. Kondenssikuivauksen toimintaperiaate
(IIHF Technical guidelines 2011, 30).

2.7 Valaistus

Valaistuksen tehtäviä jäähallissa on varmistaa toimintojen riittävä valaiseminen, turvallisuus sekä tunnelman luominen (Jäähallien valaistusohje 2014, 4). Valaistus kuluttaakin noin kuudesosan jäähallin tarvitsemasta kokonaissähköenergiasta.

Rata-alueen valaistus kuluttaa eniten valaistukseen tarvittavaa sähköenergiaa, sillä alueella tarvittava valovoimakkuus on suuri.

Jäähalleissa yleisimpiä lampputyyppejä ovat etenkin erilaiset purkauslamput. Led-valaisimet ovat myös yleistyneet viime vuosina. Turhaa valaistusta tulisi välttää rata-alueella, sillä sähköenergiankulutuksen lisäksi valaistus aiheuttaa säteilylämpökuormaa jääkenttään. Valaistusta tulisikin voida ohjata aina tarpeen mukaan. Taulukossa kuusi on esitetty jäähalleissa käytettyjen lampputyyppeiden ominaisuuksia.

Taulukko 6. Lampputyyppeiden ominaisuuksia

(Jäähallien valaistusohje 2014, 12).

Monimetallilamppu	Loisteputki	LED
Hyvät värintoisto-ominaisuudet Himmennettävä Yksinkertainen huoltaa Hyvä valotehokkuus Lyhyt polttoikä Hidas syttyminen Keraamisen purkausputken valotehokkuus ja valon laatu ovat kvartsilasista putkea paremmat.	Pitkä polttoikä Yksinkertainen ja edullinen huoltaa Valonjakaumaltaan hankalasti muokattavissa, mikä johtaa jäähalleissa yleensä huonoon energiatehokkuuteen Valon tuotto riippuvainen ympäristön lämpötilasta Syttyy nopeasti Häikäisy hyvin hallittavissa Soveltuu parhaiten mataliin asennuskorkeuksiin	Erittäin hyvät himmennysominaisuudet Pienikokoinen ja hyvin kirkas Lämmöntuotto-ominaisuuksiltaan erilainen kuin perinteiset valonlähteet Pitkä elinikä Elinikä hyvin riippuvainen puolijohteen lämpötilasta Hyvä valotehokkuus Valonjakaumaltaan helposti muokattavissa Syttyy nopeasti Tärinän ja iskunkestävä

2.8 Rakenneratkaisut

Vaipparakenteen avulla jäähalleissa voidaan ylläpitää tavoitetason mukaista sisälämpötilaa, estää vuotoilman kulkeutumista sekä suojata sisätiloja ulkoilman sääolojen vaikutukselta.

Vaipan eristämällä pyritään vähentämään lämmön johtumista sisätiloista ulkoilmaan. Lämmöneristävyyden tasoa ohjataan rakentamismääräyksillä ja sitä voidaan kuvata lämmönläpäisykertoimen, U-arvon avulla. Mitä pienempi U-arvo on,

sen parempi rakenneosan lämmöneristävyys on. Taulukosta seitsemän nähdään U-arvovaatimusten kiristyminen rakentamismääräyksissä.

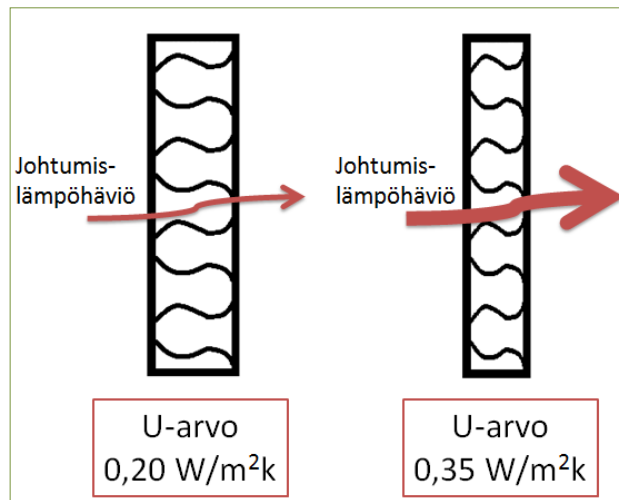
Taulukko 7. Lämmönläpäisykertoimien vertailuarvoja rakentamismääräyksissä (Rakentamismääräykset).

Rakennuslupamenettely	1978-	1985-	2003-	2008-	2010-	2012-
Ulkoseinä	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Maavarainen alapohja	0,4	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Yläpohja	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	1,4	1,4	1,4	1,4	1	1
Ikkuna	2,1	2,1	1,4	1,4	1	1

Jäähallien lämmöneristävyysmääräyksiä on voitu kuitenkin soveltaa lauhdelämmön hyödyntämisteen perusteella. Mitä paremmin lauhdelämpöä on hyödynnetty lämmityksessä, sen enemmän määräyksissä on voitu aikaisemmin joustaa vaipan eristysvaatimuksissa. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 47.) Nykyvaatimus jäähalleille on, ettei lämpöhäviöiden laskennallinen arvo ylitä rakennusmääräysten mukaista vertailuarvoa.

Jäähallin hallitilan vaipan lämmöneristävyydellä ei kuitenkaan ole yhtä suurta vaikutusta energiakulutukseen, kuin esimerkiksi omakotitaloissa, sillä hallitilan lämmitysenergiasta valtaosa kuluu jääkentän aiheuttamaan jäähdyttävään vaikutukseen eikä johtumislämpöhäviöihin. Lämpimien tilojen, kuten pukuhuoneiden, lämmöneristävyydellä on kuitenkin jo suurempi merkitys johtumislämpöhäviöihin. (SP elementit.)

Joka tapauksessa energiatehokkaassa jäähallissa lämpimien ja myös puolilämpimien tilojen lämmöneristävyys on oltava mahdollisimman hyvällä ja energiatehokkuuden suhteen optimoidulla tasolla, jotta lämmitysenergiaa tarvitaan rakenteiden johtumislämpöhäviöihin mahdollisimman vähän. U-arvon vaikutusta on havainnollistettu kuviossa 22.



KUVIO 22. U-arvon vaikutus johtumislämpöhäviöihin.

Vaipan ilmanpitävyydellä eli tiiviydellä on myös suuri merkitys, sillä ulkoilmaa joudutaan jäähallien tapauksessa aina joko lämmittämään tai jäähdyttämään vuodenaikojen mukaan. Myös kosteutta voi kulkeutua ulkoilmasta vuodenaikojen mukaan, jolloin myös ilman kuivaukseen tarvitaan lisää energiaa. Ilmatiivis rakenne on jäähalleissa energiatehokkuuden kannalta hyvä asia. (SP elementit.) Nykyisten rakennusmääräysten (D3 2012, 10) mukaan ilmanvuotoluku rakennuksen vaipalle saa olla enintään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. Myös ilmatiiviydelle asetetut määräykset ovat Suomen rakentamismääräyksissä kiristyneet taulukon kahdeksan mukaisesti.

Taulukko 8. Ilmanvuotoluvut rakentamismääräyksissä
(Rakentamismääräykset).

Rakennuslupamenettely	1985-	2003-	2008-	2010-	2012-
Rakennuksen ilmanvuotoluku n_{50}	6,0	4,0	4,0	4,0	
Vaipan ilmanvuotoluku q_{50}					4,0

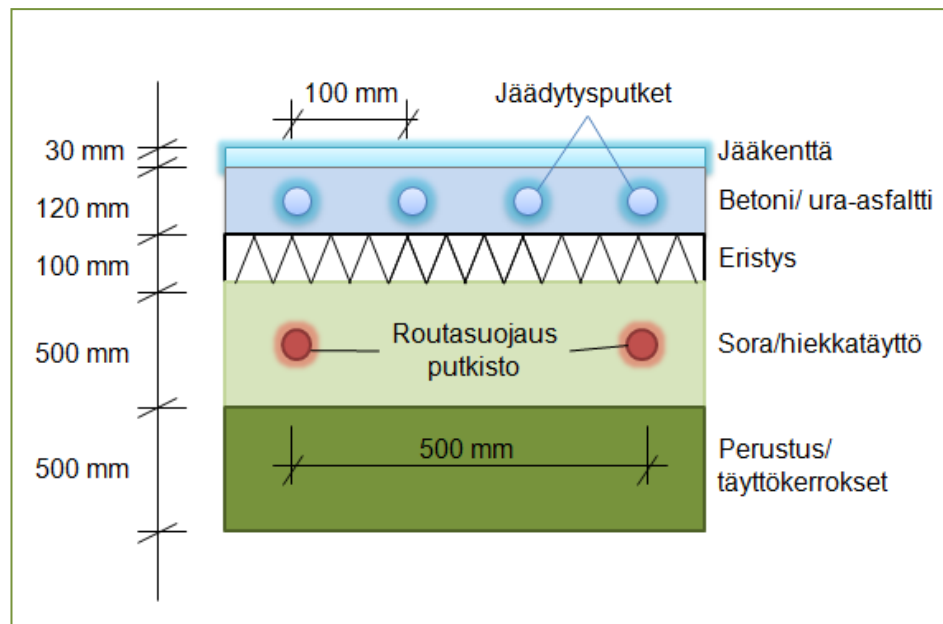
Säteilylämmönsiirrolla vaipasta jäähän on myös suuri vaikutus jäähallin energiatehokkuuteen. Säteilylämmönsiirron aiheuttamaa lämmitystarvetta ja jäähän kohdistuvaa säteilylämpökuormaa voidaan pienentää muun muassa vaipan sisäpinnan matalaemissiviteettipinnoilla. Mitä pienempi emissiviteetti sisäpinnan materiaalilla on, sen vähäisempää on pinnan lähettämä lämpösäteily. Etenkin yläpohjaraken-

teen sisäpinnan tulisi olla peitetty matalan emissiviteetin materiaalilla, jotta energiaa kuluisi mahdollisimman vähän säteilylämpöhukkaan. (SP elementit.)

Jääalueen alapohjaratkaisun toteutuksella voidaan vaikuttaa erityisesti jääkentän toimivuuteen, mutta myös kylmäkoneen sähköenergiankulutukseen. Jäädytysputket tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle jääkenttää. Jäähdytysputkistojen yläpuolisen kerroksen, esimerkiksi betonilaatan paksuudella on myös vaikutusta kylmäkoneen sähköenergiankulutukseen. Paksumpi kerros lisää energiankulutusta.

Jääkentän ja sen alapohjarakenteen tulisi olla myös mahdollisimman tasainen, jotta jäästä muodostuu tasapaksu ja kylmäkoneen sähköenergiankulutus olisi mahdollisimman vähäistä. Mitä paksumpi myös itse jääkerros on, sen enemmän tarvitaan kylmäkoneelta jäähdytysenergiaa. Jään suosituspaksuus on noin 20...30 mm. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 64.)

Jääkentän alapohjarakenteeseen tulee asentaa myös suojausratkaisut maan routimista vastaan, jotta routiva maa ei vaurioita rakenteita. Yleensä suojaus toteutetaan routaeristeillä ja routasulatusputkistolla. Routasuojausputkistolla voidaan hallita maan lämpötilaa koko käyttöjakson ajalta ja estää routiminen. (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 48–49.) Tyypillistä jäähalleissa käytettävää jääkentän alapohjarakennetta on esitelty kuviossa 23.



KUVIO 23. Esimerkki jääkentän alapohjarakenteesta
(Alkuperäinen kuva: IIHF Technical guidelines 2011).

3 TIKKAKOSKEN JÄÄHALLI

3.1 Kohteen esittely

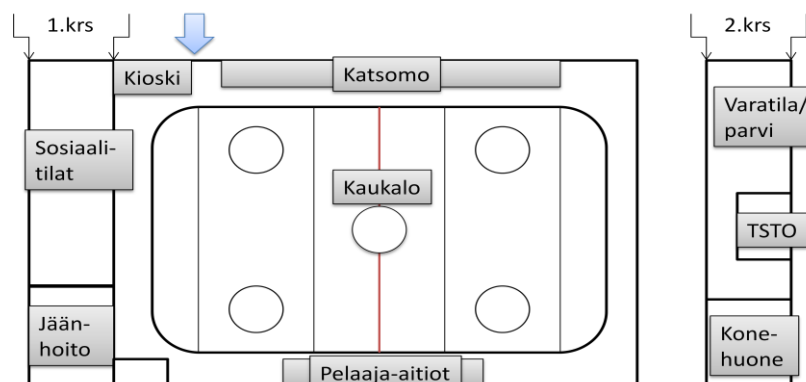
Jyväskylässä, Tikkakoskella sijaitseva Tikkakosken jäähalli on valmistunut vuonna 1996 ja se on käyttötarkoitukseltaan luokiteltu pieneksi kilpahalliksi. Halli on jääurheilukäytössä vuosittain noin kahdeksan kuukautta, elokuusta huhtikuuhun (15.8–15.4). Taulukossa yhdeksän on esitetty Tikkakosken jäähallin laajuutta koskevat tiedot.

Taulukko 9. Tikkakosken jäähallin laajuustiedot

(Tiedot: LVI-piirustukset 1996 ja jäähalliportaali 2015).

Bruttotilavuus	22150 m ³
Kerrostasoala	2744 m ²
Kaukalo	1624 m ²
Katsomo	noin 350 henkilöä
Jäähdytyskauden pituus	noin 8 kk

Jäähallin avoimessa halliosassa on kaukalo, jonka toisella laidalla sijaitsevat katsomo, kioski sekä lipunmyyntipiste ja toisella laidalla pelaaja-aitiot. Jäähallin länsipäädyssä on kaksikerroksinen osio. Alemmassa kerroksessa sijaitsevat sosiaalitilat sekä tilat jäänhoitokoneelle ja toimitsijoille. Toisessa kerroksessa on varatilana toimiva parvi, toimisto, teroitushuone sekä ilmanvaihtokone- ja lämmönjakuhuone. Tilojen sijainnit on havainnollistettu paremmin kuviossa 24.



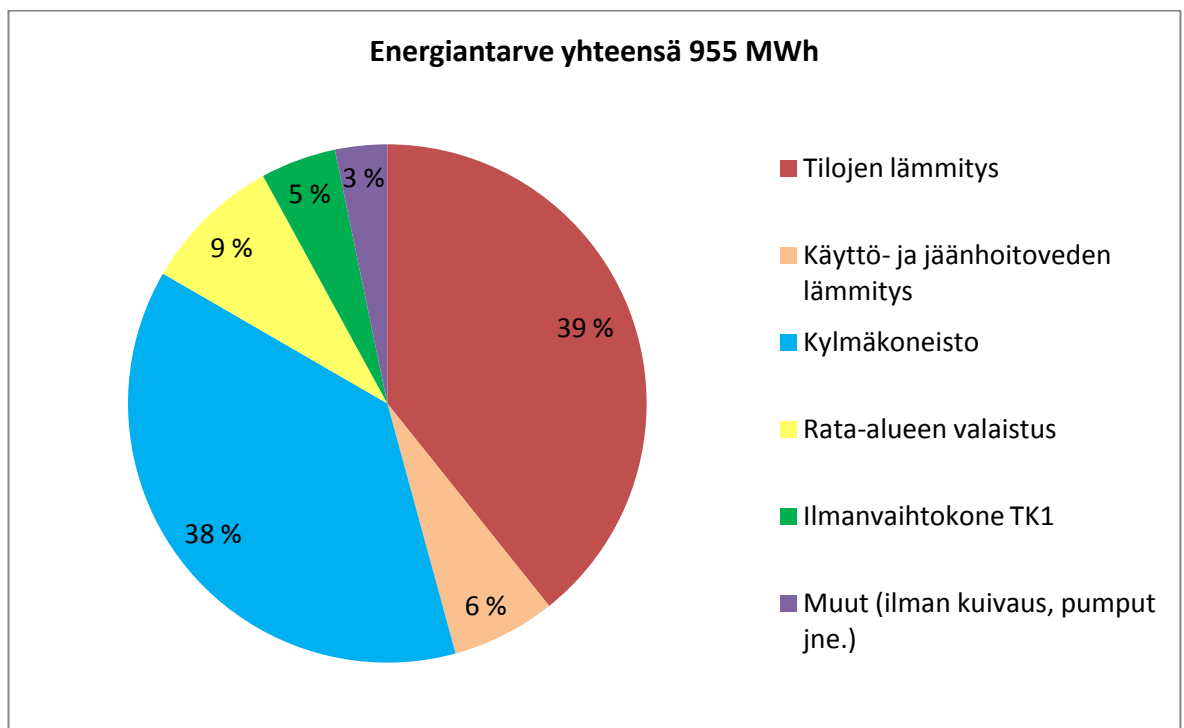
KUVIO 24. Pohjapiirustus Tikkakosken jäähallista

(Pohjapiirustus 1996).

3.2 Energiankäytön nykytila

Tikkakosken jäähallin kokonaisenergiantarve koostuu sähkölaitteiden tarvitsemasta sähköenergiasta ja lämmitysjärjestelmien tarvitsemasta lämpöenergian määrästä. Sähköenergiaa ostetaan sähkölaitokselta ja lämmitysenergiantarve kuitataan kauko- ja lauhdelämmöllä sekä sähkövastuslämmityksellä.

Sähköenergian kulutustiedot on saatu Jyväskylän tilapalvelun antamista tiedoista ja jäähalliportaaliin (2015) esitetystä kulutustiedoista. Laitekohtainen sähköenergiankulutus ja lämpöenergian tarpeet on arvioitu laskennallisesti kohteesta kerättyjen lähtötietojen pohjalta. Kokonaisenergiantarpeen on arvioitu olevan vuosittain yhteensä noin 955 MWh. Kuviossa 25 havainnollistetaan kokonaisenergiantarpeen prosentuaalista jakaumaa tarvekohtaisesti.

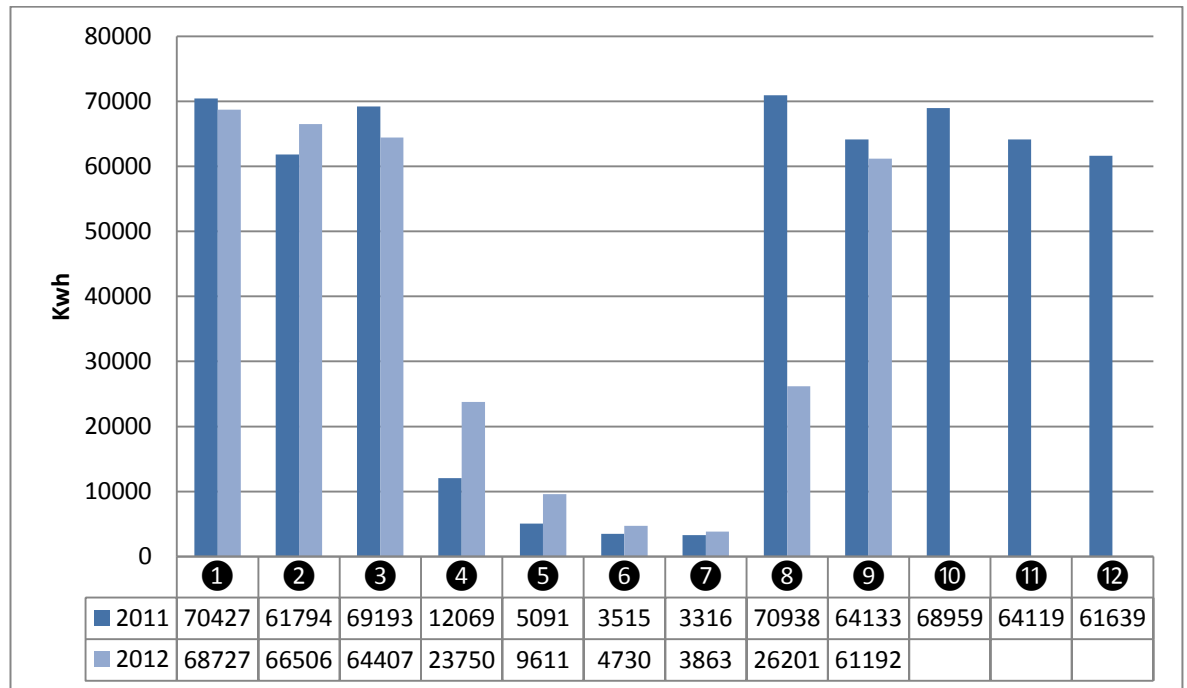


KUVIO 25. Kokonaisenergiantarpeen jakauma Tikkakosken jäähallissa.

Tikkakosken jäähalli kuluttaa vuodessa sähköenergiaa keskimäärin arviolta noin 530 MWh. Sähkön kokonaishinnan ollessa noin 0,12 €/kWh, kustannus sähköenergiankulutuksesta on noin 64000 € vuodessa. Kulutus vastaa noin 60 keskikokoisen omakotitalon vuotuista käyttösähkön energiankulutusta.

Taulukossa kymmenen on esitetty Tikkakosken jäähallin sähköpääkeskuksesta mitattu sähköenergiankulutus kuukausittain vuosien 2011 ja 2012 aikana. Käyttökäytön ulkopuolella, huhtikuusta elokuuhun, sähköenergiankulutus on hyvin vähäistä. Jäähdytyskaudella sähköenergiankulutus on ollut kuukaudessa keskimäärin noin 65 MWh.

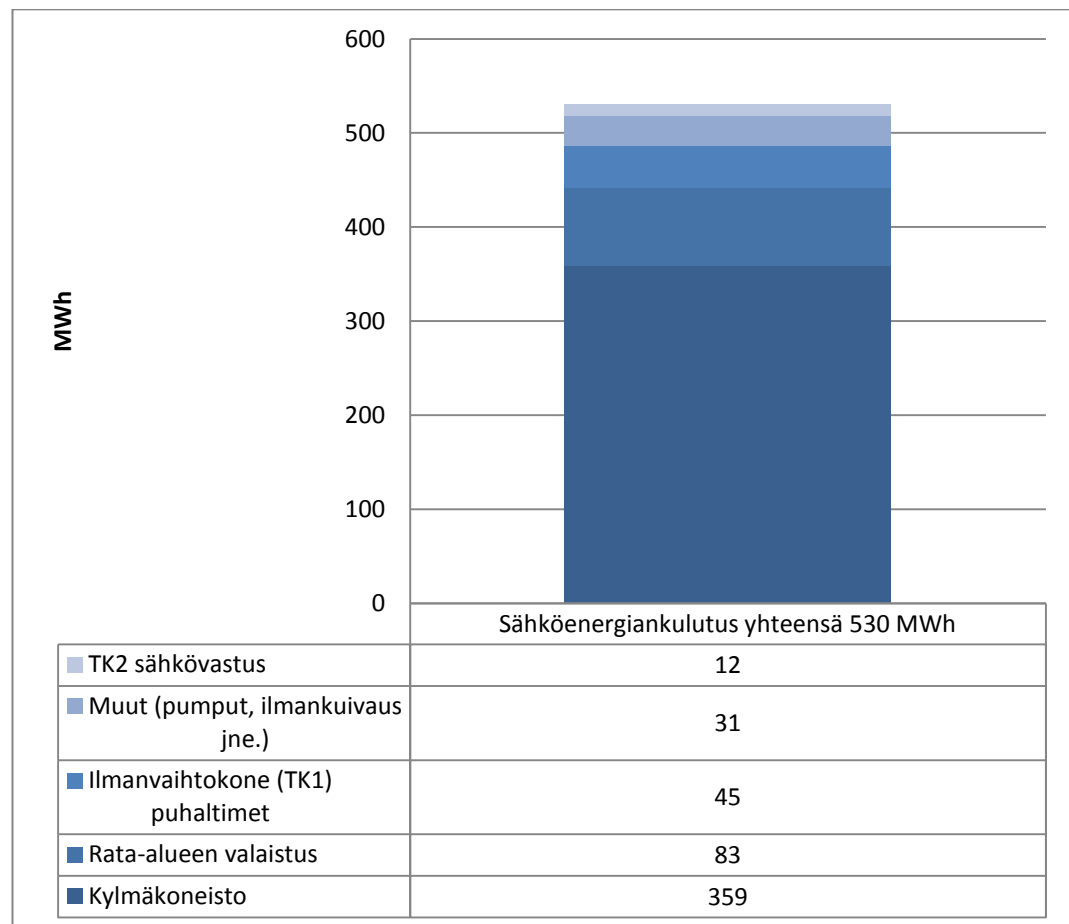
Taulukko 10. Sähköenergiankulutus kuukausittain Tikkakosken jäähallissa (Vuosisraportti 2012).



Laitekohtaista sähköenergian tarvetta on selvitetty mitatuista tiedoista ja arvioitu laskennallisesti. Laskennassa ylivoimaisesti suurimmaksi sähköenergiaa kuluttavaksi laitteeksi osoittautui kylmäkoneisto. Myös rata-alueen valaistus sekä hallituksen ilmanvaihtokone kuluttavat verrattain suuren määrän sähköenergiaa.

Runsaasti sähköenergiaa kuluttavien laitteiden energiankulutukseen ja energiatehokkuuden parantamiseen tulisi kiinnittää erityistä huomiota, sillä niissä on todennäköisesti mahdollista saavuttaa suurimmat energiasäästöt. Laitekohtaiset arvioinnit sähköenergiankulutuksesta löytyvät alempana, järjestelmäkohtaisista tekstiosioista. Yhteenveto saaduista laitekohtaisista sähköenergian tarpeista on esitetty seuraavassa pylvästaulukossa 11.

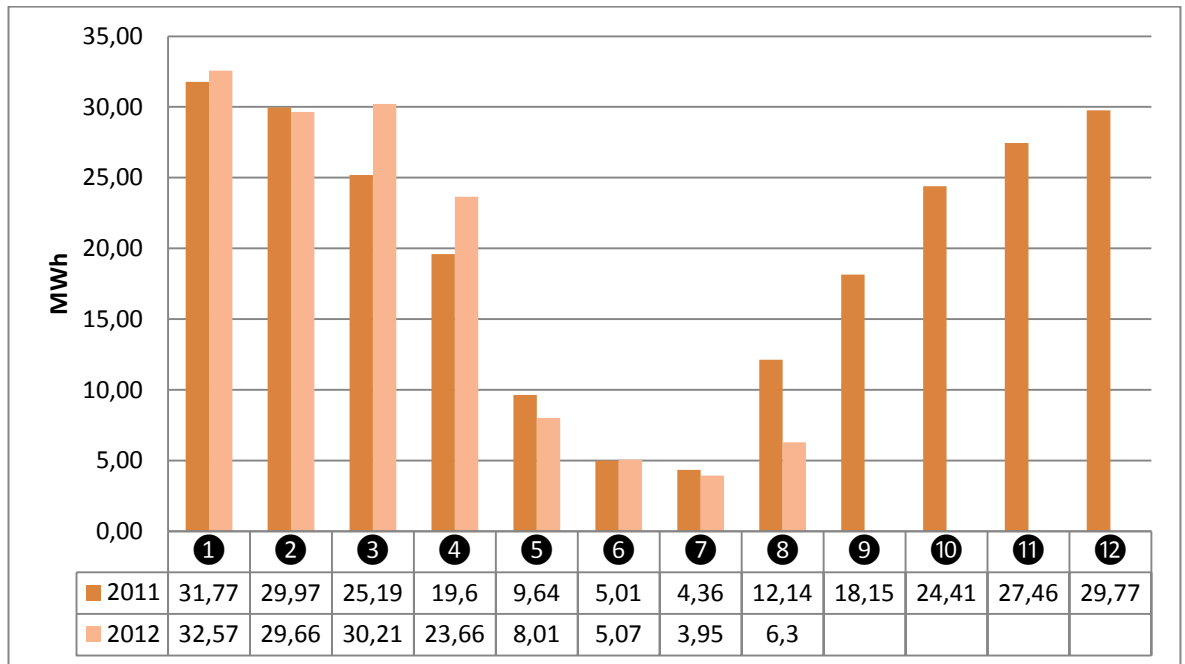
Taulukko 11. Sähköenergian laskennallinen laitekohtainen kulutusjakauma.



Tikkakosken jäähallin lämpöenergiantarve katetaan pääosin kaukolämmöllä ja hyödynnetyllä lauhde-energialla. Sosiaaliilojen tuloilmaa lämmitetään myös sähkövastuksen avulla. Lauhde-energiaa hyödyntämällä jäähalli kattaa kuukausittain arviolta noin 25–50 % kuukausittaisesta lämpöenergiatarpeesta. Ostettavaa kaukolämmön lämpöenergiaa jäähalli kuluttaa vuodessa keskimäärin 235 MWh. Vastaavalla kaukolämmön lämpöenergiamäärällä lämmitettäisiin vuodessa noin 15 omakotitaloa. Jyväskylän energian kaukolämmön kokonaishinta on noin 64 €/MWh. Tällöin jäähallin kustannukset kaukolämmön lämpöenergian kulutuksen osalta ovat noin 15000 € vuodessa.

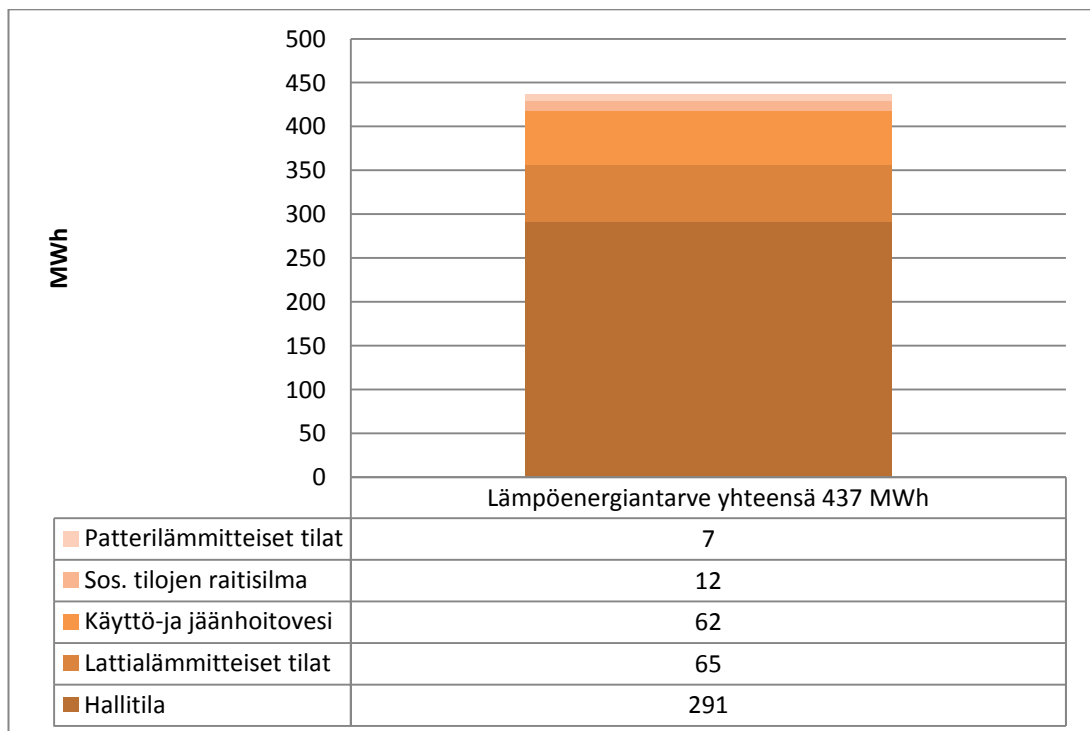
Taulukossa 12 on esitetty kulutettu kaukolämmön lämpöenergia kuukausittain, vuosien 2011 ja 2012 aikana. Suurin lämpöenergiantarve kaukolämmöstä on talvi-kuukausina. Käyttöajan ulkopuolella myös lämpöenergiankulutus on vähäistä.

Taulukko 12. Kaukolämmön kulutus kuukausittain Tikkakosken jäähallissa (Vuosiraportti 2012).



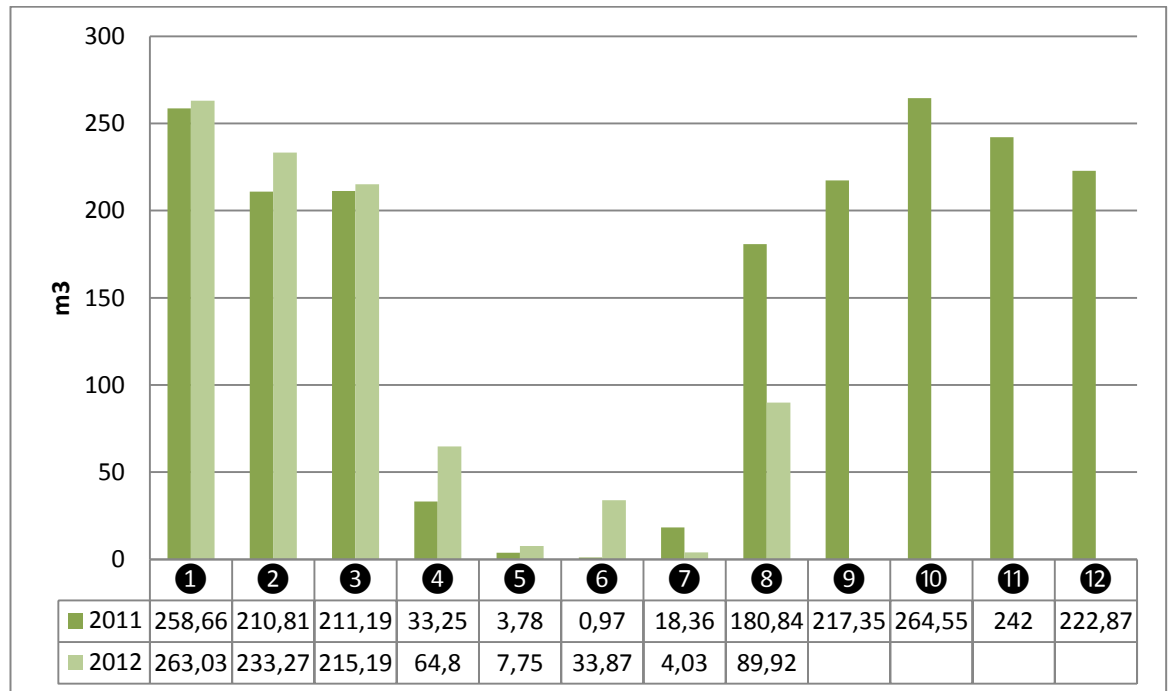
Lämmitysenergiaa tarvitaan ylivoimaisesti eniten hallitilan lämmittämiseen. Myös käyttö- ja jäänhoitoveden sekä lattialämmitteisten tilojen lämmittämiseen kuluu verrattain paljon lämpöenergiaa. Kokonaislämpöenergiantarve tilakohtaisesti on esitetty seuraavassa pylvästaulukossa 13.

Taulukko 13. Lämpöenergiantarpeen järjestelmäkohtainen kulutusjakauma.



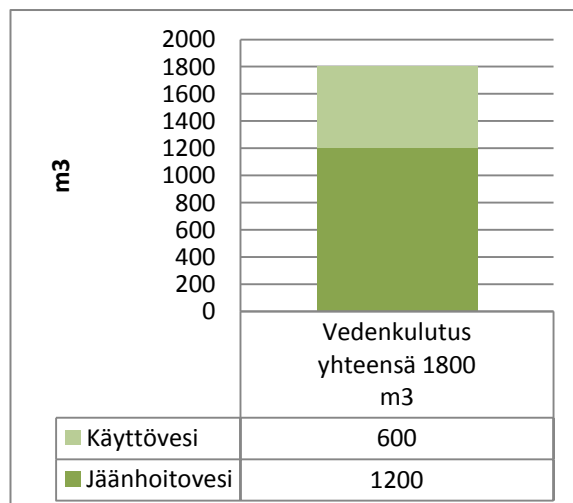
Käyttö- ja jäänhoitovettä Tikkakosken jäähallissa kuluu vuodessa yhteensä noin 1800 m³, joka vastaa noin yhdentoista omakotitalon vuotuista käyttöveden kulutusta. Veden kokonaishinnan ollessa noin 4,6 €/m³ käyttöveden kulutuksesta aiheutuvat kustannukset jäähallille ovat noin 8300 € vuodessa. Alla olevassa taulukossa 14 on esitetty käyttöveden kulutus kuukausittain vuosina 2011 ja 2012.

Taulukko 14. Käyttöveden kulutus kuukausittain Tikkakosken jäähallissa (Vuosisraportti 2012).



Jäänhoitoveden on arvioitu kuluttavan noin 67 % kokonaisvedentarpeesta, taulukon 15 mukaisesti.

Taulukko 15. Käyttöveden kulutusjakauma.



Muihin vastaavan kokoluokan jäähalleihin verrattuna Tikkakosken jäähallin energian- ja vedenkulutus näyttäisi olevan kohtalaisen hyvällä tasolla. Esimerkiksi seuraavassa kuuden jäähallin tarkastelutaulukossa 16 on vertailtu energioiden ominaiskulutuksia jäähallin bruttotilavuutta kohden sekä jäähallien kokonaisvedenkulutusta. Jäähallien kulutustiedot on luettu jäähalliportaalin verkkosivuilta.

Sähköenergiankulutus näyttäisi Tikkakosken jäähallissa olevan keskitasoa ja lämpöenergiankulutus puolestaan verrattain kohtalaisella tasolla. Vedenkulutus näyttää Tikkakosken jäähallissa olevan hieman alle keskitason. Vertailuun vaikuttaa kuitenkin paljon muuttuvia tekijöitä, kuten esimerkiksi jäähallien käyttöaika ja -aste vuodessa. Tästä syystä ei kovinkaan suuria johtopäätöksiä voida suorittaa vertailutaulukosta 16.

Kuitenkin esimerkiksi vuonna 2012 valmistunut ja nykyaikaisella tekniikalla varustettu Raaseporin jäähalli ei kuluta lainkaan ostettavaa lämpöenergiaa, vaan lämmitysjärjestelmässä hyödynnetään pääosin kylmäkoneesta saatavaa lauhdelämpöä lattialämmityksessä (Jäähallien energiankulutus mahdollista puolittaa 2015).

*Taulukko 16. Jäähallien kulutustietojen vertailua
(Jäähalliportaali 2015).*

JÄÄHALLI	Ominaiskulutus [kWh/r-m ³]		[m ³]
	Sähkö	Lämpö	Vesi
Tikkakosken jäähalli	17	8	1800
Äijäsuon harjoitushalli	14	20	2160
Hämeenkyrön jäähalli	14	11	2051
Pedersören jäähalli	21	9	1600
Laitilan jäähalli	19	8	2250
Raaseporin jäähalli	17	0	1200

Nykyisissä Suomen rakentamismääräyksissä ei ole jäähalleille määritelty vertailueikä enimmäisarvoa kokonaisenergiankulutukselle eli E-luvulle. Jäähallien kulutustietoja ei voida siis tarkastella ja vertailla rakentamismääräysten näkökulmasta.

3.3 Kylmäkoneisto

3.3.1 Kylmäkonekontin komponentit

Kylmäkoneisto kuluttaa valtaosan Tikkakosken jäähallin sähköenergiankulutuksesta. Ilmoitettu tieto kylmäkoneiston sähköenergiankulutuksesta on luettu jäähalliportaalista ja se on noin 359 MWh/a. Arvio sähköenergiankulutuksesta sisältää kaikkien kylmäkoneen eri komponenttien, kuten kompressorien, kylmäliuospumpun ja ulkoilmalauhduttimen puhaltimien yhteenlasketun sähkönenergian kulutuksen. Kylmäkoneisto kuluttaakin Tikkakosken jäähallin kokonaissähköenergiantarpeesta noin 68 %. Tikkakosken jäähallin kylmäkoneisto on toteutettu hallin ulkopuolelle sijoitetulla kylmäkonekontilla ja käytössä on välillinen jäähdytysjärjestelmä. Kuvassa kolme on esitetty käytössä oleva kylmäkonekontti.



KUVA 3. Tikkakosken jäähallin kylmäkonekontti

Kylmäkoneeseen on vaihdettu kylmäaine vuonna 2008 kylmäainelainsäädännön muutosten seurauksesta. Vanha kylmäaine R22 on korvattu uudella kylmäaineella R404A. Mitoitettu kylmäaineen lauhtumislämpötila on 35 °C ja höyrystymislämpötila -15 °C.

Kylmäkoneiston mäntäkompressorit ovat mallia Bock FX16/2051. Kompressoreja on kylmäkonekontissa yhteensä neljä. Yhden kompressorin tuottama jäähdytysteho mitoitetuilla kylmäaineen R404A:n lauhtumis- ja höyrystyslämpötiloilla on 85,3 kW ja kompressorin tarvitsema sähköteho on tällöin 29,6 kW. Jokaista kompressoria pyörittää nimellisteholtaan 30 kW:n sähkömoottori.

Tavanomaisessa käytössä kompressoreista kuitenkin yleensä yksi on kerrallaan käynnissä. Jäähdytystarpeen kasvaessa, esimerkiksi jäähoidon tuottaman lämpökuorman seurauksena, kompressoreita käynnistyy kuitenkin tarvittaessa lisää. Koneiston tehoportaita ohjataan jääkentän laatasta mitatun lämpötilan mukaan. Jääkentän haluttua lämpötilaa voidaan säätää myös käsisäädön avulla kylmäkonekontin sisältä. Jääkentän laattalämpötila on yleensä noin -5,5...-7 celsiusastetta. Kompressorimalli nähdään kuvasta neljä.



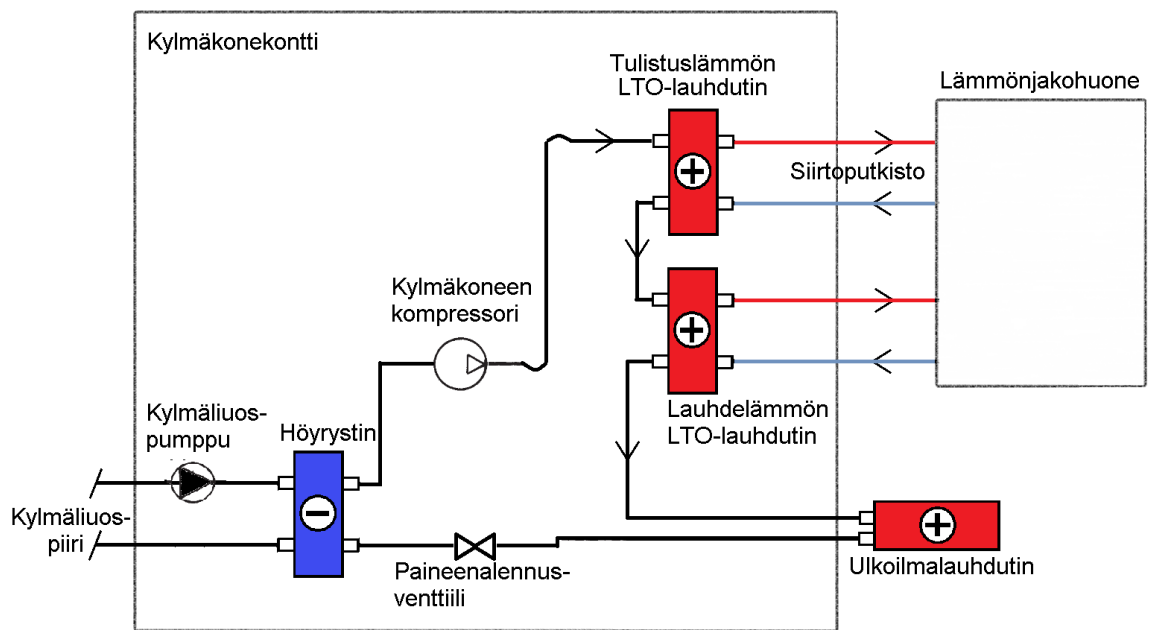
KUVA 4. Yksi neljästä kylmäkoneen Bock FX16/2051 kompressoreista.

Jäähdytettyä kylmäliuosta rataputkistossa kierrättää sähkönottoteholtaan 12 kW:n kylmäliuospumppu. Pumpun käyntiä ohjataan myös jääkentän lämpötilan mukaan. Rataputkistossa kiertävä kylmäliuos on glykoliseosta ja liuoksen mitoitettu massavirta on 31 kg/s.

Lauhduttimia kylmäkonekontissa on kolme:

- tulistuslämmön LTO -lauhdutin (41 kW)
- lauhdelämmön LTO -lauhdutin (110 kW)
- ulkoilmalauhdutinyksikkö (424 kW).

Kompressorilla tulistettu kylmäaine siirtyy ensin tulistuslämmön lauhduttimeen, jolla tulistuslämpö otetaan talteen. Seuraavaksi kylmäaine siirtyy lauhdelämmön lauhduttimeen. Lämpöenergia siirretään LTO-lauhduttimilta siirtoputkien avulla lämmönjakohuoneeseen, jossa tulistus- ja lauhdelämpöä hyödynnetään lämmitysjärjestelmissä. Lauhdelämmön lauhduttimesta kylmäaine siirtyy lopulta ulkoilmalauhduttimeen, jolla kylmäainetta lauhdutetaan vielä ulkoilman avulla. Kuviossa 26 on havainnollistettu paremmin tätä toimintaperiaatetta.



KUVIO 26. Kylmäkoneiston kytkentäkaavio
(LVI-piirustukset 1996).

3.3.2 Kylmäkertoimen määrittäminen

Suurin mitoituskylmäteho koneistolla on 341 kW. Mitoitustilanteessa kompressorin, kylmäliuospumpun, apulaitteiden ja ulkoilmalauhduttimien yhteenlaskettu sähkönotto on noin 140 kW. Kylmäkertoimeksi koko kylmäkoneistolle saadaankin teoria-osion kaavalla 1 suurimman jäähdytystarpeen mitoitustilanteessa 2,4. Kompressorin kylmäkerroin mitoitustilanteessa on vastaavasti 2,9.

Kylmäkoneisto toimii mitoitusteholla kuitenkin vain harvoin, joten energialaskelmissa ei tule käyttää mitoitustilanteen kylmäkerrointa. Kompressorin energiankulutukseen vaikuttavat myös etenkin kylmäaineen höyrystymis- ja lauhtumislämpötilat. Kuviosta 27 voidaan havaita toimintalämpötilojen vaikutus kohteessa käytössä olevan kompressorin kylmä- ja sähkötehoon.

R404A Bock FX16/2051							
Lauhtu- mist. [°C]		Q = kylmäteho [W]			P = sähköteho [kW]		
		Höyrystyslämpötila [°C]					
		5 °C	0 °C	-5 °C	-10 °C	-15 °C	-20 °C
30 °C	Q	198112	167635	140043	115270	93247	73908
	P	32,63	32,79	32,05	30,56	28,45	25,88
40 °C	Q	171341	143787	118983	96860	77352	60392
	P	40,28	38,85	36,69	33,96	30,78	27,31
50 °C	Q	143424	119053	97295	78083	61350	47028
	P	46,73	43,85	40,42	36,57	32,47	28,24

KUVIO 27. Toimintalämpötilojen vaikutus kompressorin kylmä- ja sähkötehoon (Bock).

Keskimääräisenä jäähdytyskauden aikaisena höyrystyslämpötilana käytetään laskelmissa lämpötilaa -10 °C ja lauhtumislämpötilana 35 °C. Tällöin kuviosta 27 interpoloituna yhden kompressorin sähkönotto on 32 kW ja kylmäteho on 106 kW. Laskennassa käytettäväksi kompressorin jäähdytyskauden keskimääräiseksi kylmäkertoimeksi, eli SEER-luvuksi saadaan näin 3,3.

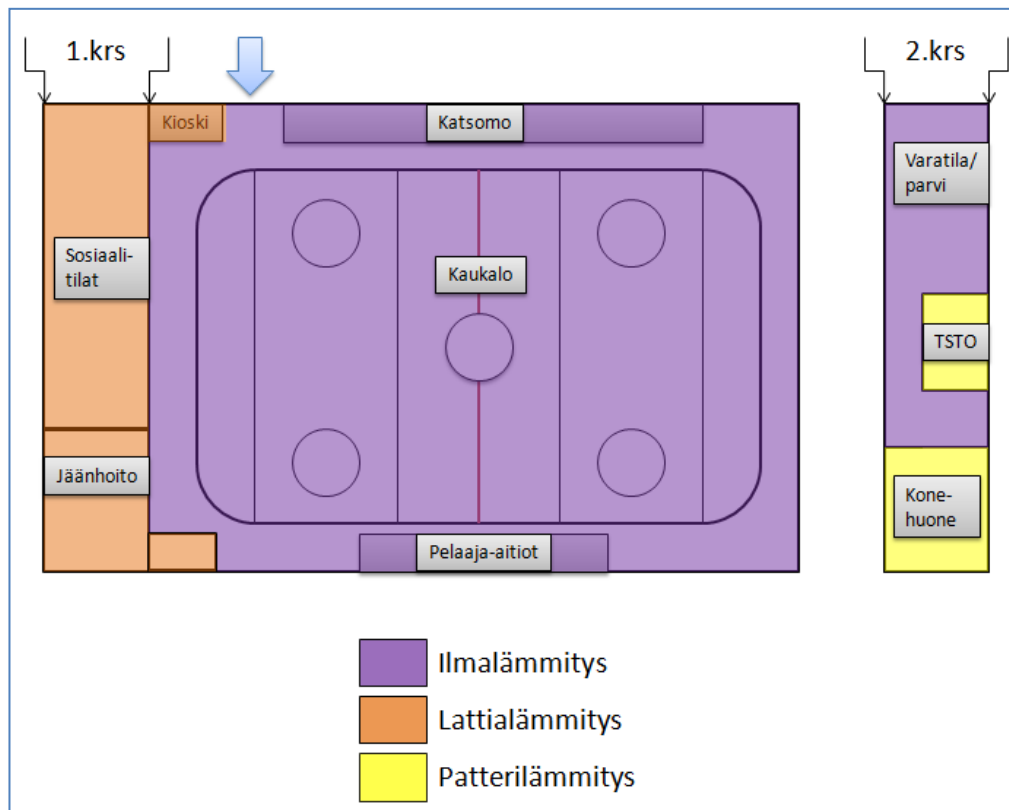
Jäähallin kylmäkoneiston vuotuisen sähköenergiankulutuksen perusteella keskimääräinen kylmäkoneiston sähköteho vuotuisen 5760 tunnin jäähdytyskauden aikana on noin 62 kW. Kompressorin osuus keskimääräisestä sähkötehosta on

arvioitu olevan noin 47 kW. Tällöin kompressorien tuottama kylmäteho on jäähdytyskaudella keskimäärin 155 kW. Koko kylmäkoneiston laskennassa käytettävän SEER -luvun arvioidaan näin olevan noin 2,5.

3.4 Lämmitysjärjestelmä

Tikkakosken jäähallin lämmitysmuotoja ovat kaukolämpö, sähkölämmitys sekä tulistus- ja lauhdelämmön hyödyntäminen. Kaukolämmöllä lämmitetään käyttö- ja jäänhoitovettä, lattia- ja patterilämmityspiirejä sekä hallitilan katsomon tuloilmaa. Sähkövastuslämmitystä käytetään puolestaan sosiaali-tilojen tuloilman lämmityksessä. Tulistuslämpöä hyödynnetään käyttö- ja jäänhoitoveden esilämmittämisesä ja lauhdelämpöä hallitilan tuloilman lämmityksessä.

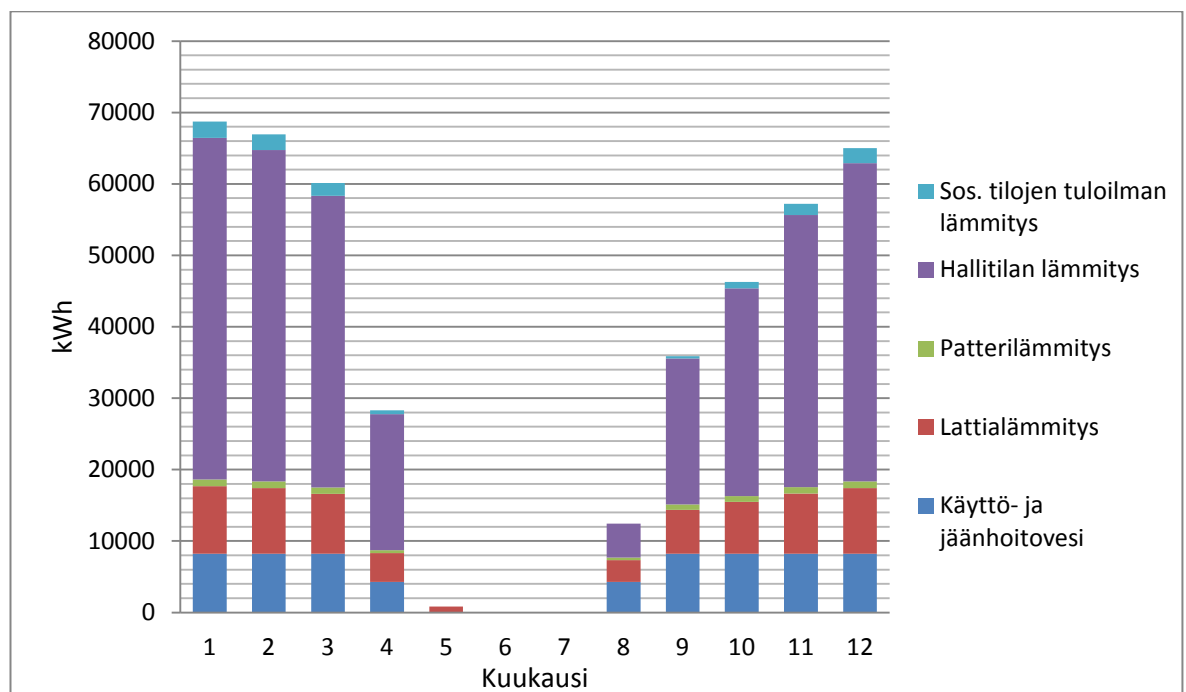
Lämpöenergia jaetaan tiloihin lattia-, patteri- tai ilmalämmityksen avulla. Kuviossa 28 on havainnollistettu tilojen lämmönjakotavat.



KUVIO 28. Tikkakosken jäähallin tilakohtaiset lämmönjakotavat (LVI-piirustukset 1996).

Tikkakosken jäähallin lämmitysenergian tarpeen on laskennallisesti arvioitu olevan kahdeksan kuukauden käyttöjaksolla noin 437 MWh. Laskelmat on esitetty tarkemmin liitteissä 1–4. Laskennan tuloksia hyödynnetään myöhempanä esimerkiksi lauhdelämmön hyödyntämismahdollisuuksien tarkastelussa. Laskettujen tulosten pohjalta havaitaan suurimman osan lämmitysenergiasta kuluvan hallitilan lämmitämiseen ilmalämmityksen avulla. Lattialämmitteisten tilojen ja käyttö- ja jäähöitoveden lämpöenergian tarve on myös verrattain suurta. Lämmitysenergian tarpeen laskelmien yhteenveto on esitetty pylvästaulukossa 17.

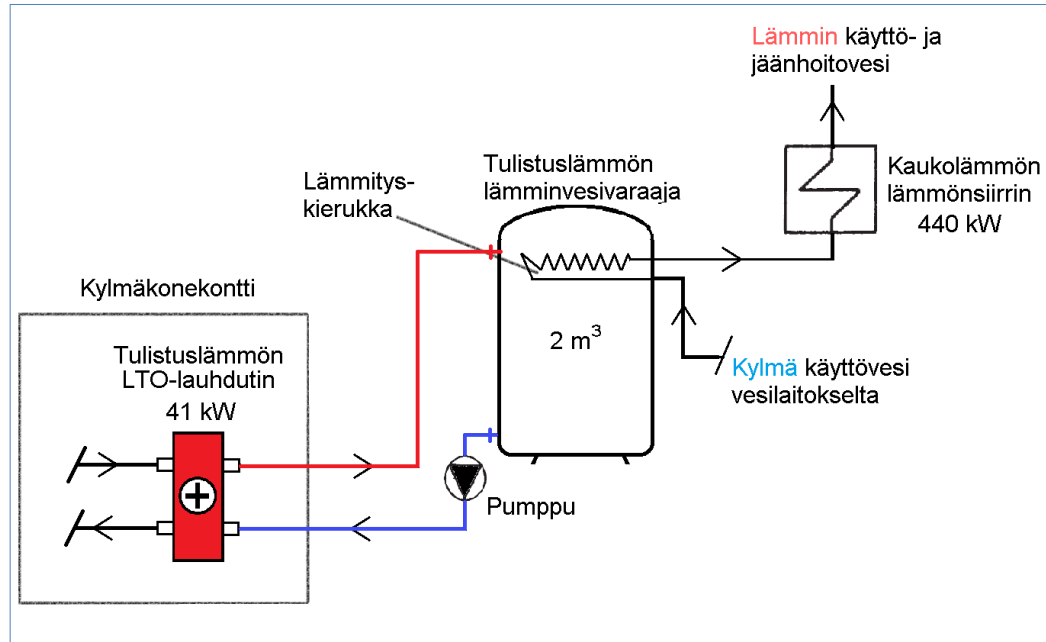
Taulukko 17. Lämmitysenergian kokonaistarpeen jakautuminen kuukausittain.



3.4.1 Käyttö- ja jäähöitoveden lämmitys

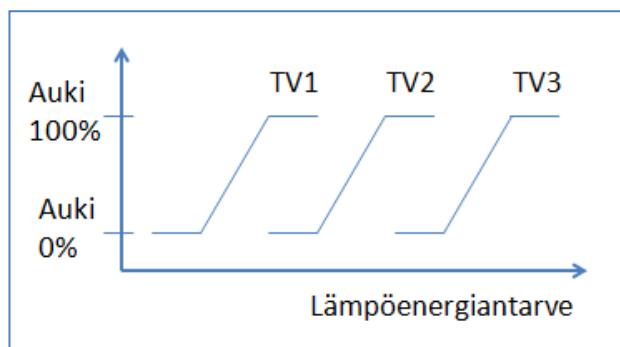
Lämmintä käyttövettä kuluu etenkin jäähöidossa ja pesutiloissa. Käyttö- ja jäähöitoveden lämmitykseen käytetään kauko- ja tulistuslämpöä. Tulistuslämmöstä saatava lämpöenergia varastoidaan tilavuudeltaan 2 m³:n lämminvesivaraajaan, jonka sisällä kiertää vesi-glykoli-seos. Varaajassa olevan lämmityskierukan avulla esilämmitetään käyttövettä. Lämminvesivaraajan kierukasta käyttövesi siirtyy kaukolämmön käyttöveden levylämmönsiirtimeen, jonka avulla käyttövesi lämmitetään

tarvittaessa $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen. Kaukolämmön käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitettu teho on 440 kW. Kuviossa 29 on havainnollistettu käytössä olevaa käyttöveden lämmitysjärjestelmää.



KUVIO 29. Käytössä oleva käyttö- ja jäänhoitoveden lämmitysjärjestelmä (LVI-piirustukset 1996).

Automaatiikan avulla ohjataan käyttöveden lämmityksen säätöventtiilejä TV1, TV2, ja TV3 kuvion 30 mukaisesti. Lämmitystarpeen kasvaessa ensin avautuu tulistuslämpöä hyödyntävän lämminvesivaraajan venttiili TV1. Mikäli tarvittavaa lämmitystehoa ei saada tulistuslämpöä hyödyntämällä, aukeavat myös kaukolämmön virtaamaa lämmönsiirtimessä säätävät venttiilit TV2 ja TV3.



KUVIO 30. Käyttöveden lämmityksen säätöperiaate (LVI-piirustukset 1996).

Yhteensä vettä tarvitaan vuotuisen käyttöjakson aikana noin 1800 m^3 . Jäänhoidon vuotuisen käyttöjakson ajalle tarvitsema vesimäärä on arvioitu seuraavalla kaavalla:

$$V_{\text{jäänhoito}} = V_{\text{ajo}} \cdot n \cdot t \quad (2)$$

jossa $V_{\text{jäänhoito}}$ on tarvittava vesimäärä tarkasteluajalle, m^3
 V_{ajo} on jäänhoitokerran keskimääräinen vedenkäyttö, m^3
 n on jäänhoitokertoja vuorokaudessa
 t on tarkastelujakson pituus vuorokausissa

Tulokseksi saadaan:

$$V_{\text{jäänhoito}} = 0,5 \text{ m}^3 \cdot 10 \cdot 240 = 1200 \text{ m}^3$$

Muihin toimintoihin, kuten peseytymiseen ja siivoukseen käytetään vettä arviolta 600 m^3 . Lämmintä käyttövettä käytetään jäänhoitovedessä arviolta 60 % ja 45 % muissa toiminnoissa. Lämmitettävän vesimäärän arvioidaan siis olevan vuodessa yhteensä 990 m^3 .

Kokonaisuudessaan lämmitettävän vesimäärän lämmitysenergiantarve on selvitetty alla olevan kaavan kolme avulla (D5 2012, 24).

$$Q_{\text{lkv}} = p_v \cdot C_{\text{pv}} \cdot V_{\text{lkv}} \cdot (T_{\text{lkv}} - T_{\text{lk}}) / 3600 \quad (3)$$

jossa	Q_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämmitysenergiantarve, kWh
	p_v	veden tiheys, 1000 kg/m^3
	C_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, $4,2 \text{ kJ/(kg K)}$
	V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus, m^3
	T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, $^{\circ}\text{C}$
	T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, $^{\circ}\text{C}$
	3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Lämpimän ja kylmän käyttöveden lämpötilaeron ($T_{lkv} - T_{lk}$) käytetään arvoa 50 °C. Tuloksena arvioiduksi käyttöveden lämmitysenergiantarpeeksi saadaan kaavan 3 avulla 57,8 MWh vuodessa. Käyttöveden siirrosta ja lämpimän käyttöveden kierrosta aiheutuu kuitenkin lämpöhäviöitä. Käyttöveden siirron hyötysuhde on arvioitu olevan 0,98 ja käyttöveden kierrosta aiheutuu lämpöhäviöitä noin 3 MWh vuodessa. Lämpöhäviöt huomioiden käyttöveden kokonaislämpöenergiantarve on noin 62 MWh vuodessa. Tulistustlämpö varastoidaan kuvan viisi mukaiseen varajaan.



KUVA 5. Tulistustlämmön lämminvesivaraaja.

3.4.2 Lattialämmitys

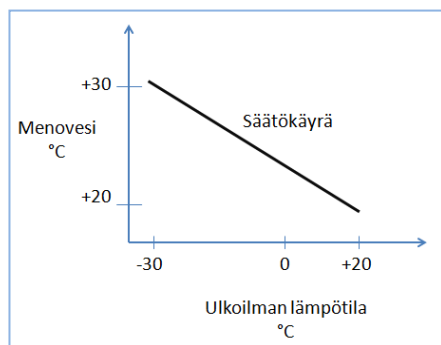
Sosiaalitalat, kioski, jäänhoitokonetila, lipunmyyntipiste ja toimitsijatilat lämmitetään lattialämmityksen avulla. Lattialämmityspiirissä kiertävä vesi lämmitetään kokonaan kaukolämmityksen avulla. Lattialämmitykseen ostettavan lämpöenergian määrän on laskennallisesti arvioitu olevan kahdeksan kuukauden käyttöajalle noin 65 MWh. Tämän lisäksi tuloilman lämmittäminen tuloilmakoneen sähköpatterin

avulla tarvitsee lämmitysenergiaa arviolta noin 11,7 MWh vuodessa. Lattialämmitteisten tilojen energiantarvelaskelmat on esitetty tarkemmin liitteessä kolme. Yhteenveto laskennasta on esitetty seuraavassa taulukossa 18.

Taulukko 18. Lattialämmityspiirin lämmitysenergian tarve kuukausittain.

Lattialämmitteiset tilat [kWh]						
Lattialämmityksen vuosihyötysuhde 0,8						
Kuukausi	Q_{joht}	$Q_{\text{vuotoilma}}$	$Q_{\text{kylmäsiilat}}$	Q_{iv}	$E_{\text{lämpökuormat}}$	Lämmitysenergian tarve
Tammikuu	6359	635	692	1426	-1575	9420
Helmikuu	6203	619	649	1426	-1575	9152
Maaliskuu	5737	555	536	1426	-1575	8348
Huhtikuu	4994	449	359	1426	-788	4025
Toukokuu	490	163	22	0	0	844
Kesäkuu	11	82	-79	0	0	17
Heinäkuu	-164	40	-103	0	0	-284
Elokuu	3875	247	137	1426	-788	3061
Syyskuu	4458	329	277	1426	-1575	6144
Lokakuu	5104	420	431	1426	-1575	7257
Marraskuu	5783	524	585	1426	-1575	8428
Joulukuu	6217	598	675	1426	-1575	9176
YHTEENSÄ (8kk)						65010 kWh

Sosiaalitilojen sisälämpötila on käytön aikana asetettu olemaan +20 °C ja muulloin +14 °C. Lattialämmityspiiri on mitoitusteholtaan 15 kW ja piiriin menevän menoveden lämpötila on tällöin 30 °C ja paluuveden 25 °C. Lattialämmityksen menoveden lämpötilaa muutetaan ulkoilman lämpötilan mukaan säätöventtiilin avulla, kuvion 31 mukaisesti. Menoveden lämpötilaa voidaan nostaa myös käsikäytöllä toimivalla lämpötilannostokäytöllä.



KUVIO 31. Lattialämmityspiirin menoveden säätöperiaate (LVI-piirustukset 1996).

3.4.3 Patterilämmitys

Patterilämmityksen avulla lämmitetään toisessa kerroksessa sijaitseva toimisto, teroitus-, ja konehuone. Patterilämmityksen menovesi lämmitetään myös kokonaan kaukolämmön lämmönsiirtimen avulla. Patterilämmitteisten tilojen arvioidaan kuluttavan lämpöenergiaa vuodessa noin 7 MWh. Taulukossa 19 on esitetty patterilämmitteisten tilojen lämmöntarpeen jakautuminen. Tarkempi laskelma patterilämmityksen lämmitysenergiatarpeesta löytyy liitteestä 4.

Taulukko 19. Patterilämmitteisten tilojen lämmitysenergiatarve kuukausittain.

Patterilämmitteiset tilat [kWh]						
Patterilämmityksen vuosihyötysuhde 0,9						
Kuukausi	Q _{joht}	Q _{vuotoilma}	Q _{kylmäsiilat}	Q _{iv}	E _{lämpökuormat}	Lämmitysenergiatarve
Tammikuu	796	124	84	232	-381	950
Helmikuu	788	122	84	232	-381	939
Maaliskuu	755	114	82	232	-381	891
Huhtikuu	700	102	78	232	-381	406
Toukokuu	19	0	0	0	0	-402
Kesäkuu	10	0	0	0	0	-412
Heinäkuu	5	0	0	0	0	-418
Elokuu	594	78	71	232	-381	330
Syyskuu	637	88	74	232	-381	721
Lokakuu	684	99	77	232	-381	789
Marraskuu	738	111	81	232	-381	867
Joulukuu	777	120	84	232	-381	923
YHTEENSÄ (8kk)						6816 kWh

Sisälämpötilaksi tiloihin on käytön ajaksi asetettu +20 °C ja muulloin +14 °C. Pattereihin menevän menoveden lämpötila on 70 °C ja paluuveden 40 °C. Lämmitystehona patteriverkostolle on mitoitettu 6 kW.

3.4.4 Hallitilan lämmitys

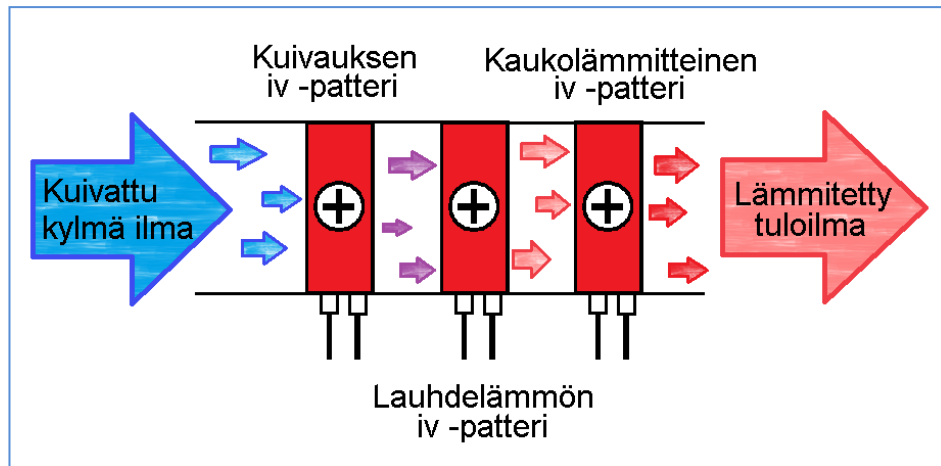
Hallitilan tuloilmaa lämmitetään ilmanvaihtopattereiden avulla. Hallitilaan tarvittavasta lämmitysenergiasta valtaosa kuluu lämpösäteilyyn pintojen välillä sekä konvektiolämmönsiirtoon jään ja hallin ilman välillä eli jääkentän aiheuttaman jäähdyttävän vaikutuksen kumoamiseen.

Hallitilan kuukausittainen lämmitysenergiantarve on koostettu liitteessä 1 olevista laskelmista. Lämmityksessä hyödynnettävien lämpökuormien kuukausittainen lämpöenergia on vastaavasti koostettu laskelmista liitteestä 2. Jäähallin vuotuisen käyttöjakson aikana arvioidaan hallitilan lämmitysenergiantarpeen olevan yhteensä noin 291 MWh. Taulukosta 20 nähdään laskennallisesti arvioitu hallitilan lämmitysenergiantarve kuukausittain.

Taulukko 20. Hallitilan lämmitysenergiantarve kuukausittain.

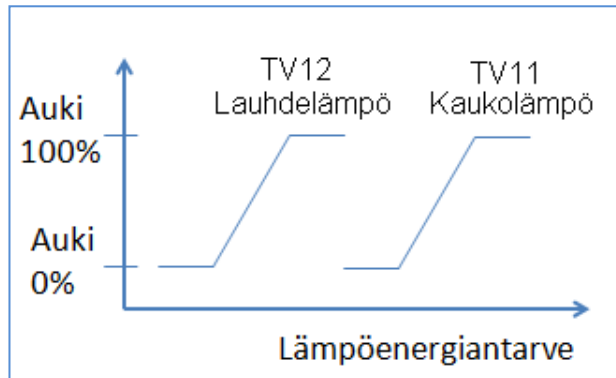
Hallitilan lämmitys [kWh]								
Ilmalämmityksen vuosihyötysuhde 0,9								
Kuukausi	Q	Q	Q	Q	Q	Q	E	Lämmitysenergian tarve
	konv, ilma-jää	konv, ilma- vaippa	vuotoilma	kylmäsiilat	alapohja	raitisilma	lämpökuormat	
Tammikuu	14424	30529	3865	1866	901	10944	-19500	47810
Helmikuu	14424	30286	3652	1764	805	10341	-19500	46413
Maaliskuu	14424	29314	2807	1356	423	7949	-19500	40859
Huhtikuu	7212	13847	1399	675	-213	3962	-9750	19036
Toukokuu	0	0	-120	-58	-899	-722	0	-1999
Kesäkuu	0	0	-1197	-577	-1385	-7209	0	-11520
Heinäkuu	0	0	-1757	-850	-1638	-10587	0	-16480
Elokuu	7212	12349	-642	-310	-712	-3868	-9750	4755
Syyskuu	14424	25913	-200	-96	-935	-1207	-19500	20443
Lokakuu	14424	27290	1009	487	-389	2857	-19500	29086
Marraskuu	14424	28828	2388	1154	234	6763	-19500	38101
Joulukuu	14424	29962	3373	1629	678	9550	-19500	44573
YHTEENSÄ (8kk)							291077 kWh	

Hallin sisälämpötila on käytön aikana asetettu olemaan +10 °C ja muulloin +5 °C. Tuloilmaa lämmitetään kauko- ja lauhdelämmön, sekä ilmankuivauksesta saatavan lämpöenergian avulla. Kaukolämpöön liitetyn ilmanvaihtopatterin mitoitettu lämmitysteho on 160 kW, menoveden lämpötila 70 °C ja paluuveden 40 °C. Lauhdelämpöä hyödyntävän LTO-patterin lämmitysteho on 90 kW, menoveden lämpötila 30 °C ja paluuveden 17 °C. Kuviossa 32 on esitetty tuloilman lämmityksen periaate.



KUVIO 32. Hallitilaan puhallettavan tuloilman lämmityisperiaate (LVI-piirustukset 1996).

Tuloilman lämmitystarpeen kasvaessa lauhdelämmön LTO-patterin säätöventtiili TV12 aukeaa ensin vastaamaan lämmitystarvetta. Mikäli lauhdelämmön iv-patterin lämmitysteho ei riitä, aukeaa myös kaukolämmitteisen lämmityspatterin vesivirtaamaa säättävä säätöventtiili TV11. Kuviossa 33 on esitetty säädön toimintaa.



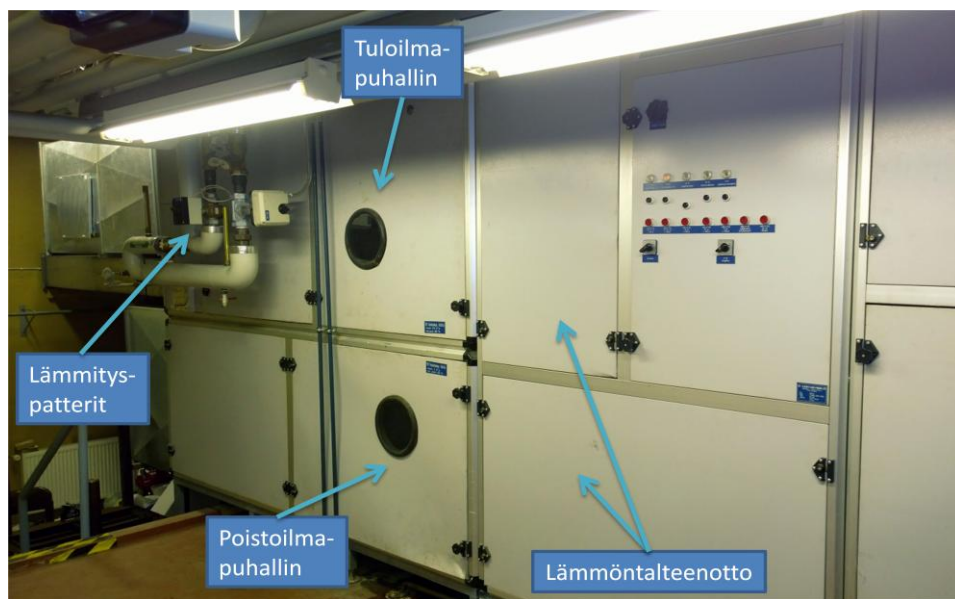
KUVIO 33. Ilmanvaihtopattereiden säädön toiminta (LVI-piirustukset 1996).

3.5 Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmä on jäähallissa toteutettu kahdella eri osastoista vastaavilla ilmanvaihtokoneilla sekä viidellä erillisellä huippuimurilla. IV-konehuoneessa sijaitseva TK1-ilmanvaihtokone huolehtii hallitilan ilmanvaihdosta ja toimiston viereen

asennettu pienempi TK2-ilmanvaihtokone huolehtii puku- ja sosiaalitilojen ilmanvaihdosta. Erilliset huippumurit vastaavat muiden pienempien tilojen ilmanvaihdosta. Työssä päädyttiin rajaamaan tarkastelua lähinnä suurimman ilmanvaihtokoneen, eli hallitilasta vastaavan koneen toimintaan.

Hallitilan ilmanvaihtokone TK1 on malliltaan Findri adej 6000 ja koneen tehtävänä on hoitaa hallitilan lämmitys, ilman kuivaus ja ilman riittävä vaihtuvuus. Ilmanvaihtokone koostuu tuloilmapuhaltimesta TF1, poistoilmapuhaltimesta PF1, säätöpeleleistä, suodattimista sekä lämmitys- ja jäähdytyspattereista. Kone on varustettu myös ristivirtalevylämmöntalteenotolla.



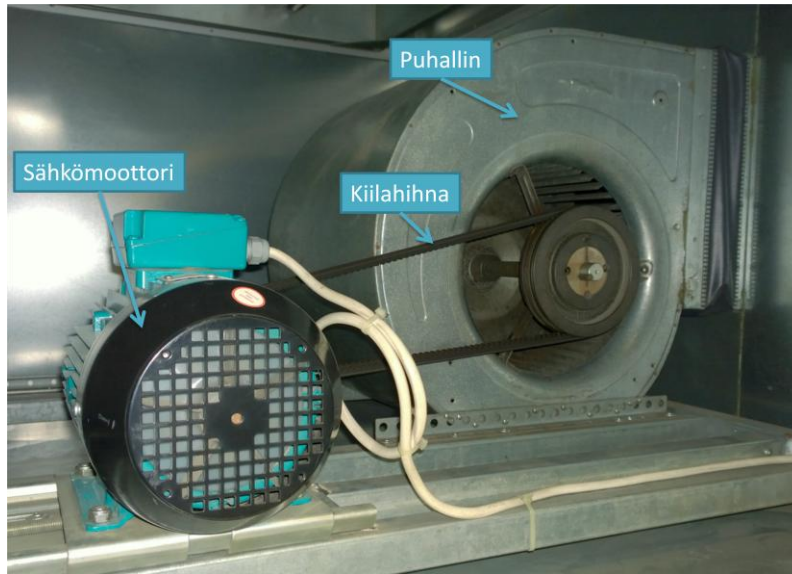
KUVA 6. Ilmanvaihtokone Findri adej 6000.

Tuloilmapuhallin jakaa tuloilman ilmanvaihtokanavien avulla kaukalon päälle ja katsomoon. TF1 toimii kahdella pyörimisnopeudella, nopealla (1/1) ja hitaalla (1/2), jolloin kokonaistuloilmavirrat ovat 6 tai 3 m³/s. Alla olevassa taulukossa 21 esitetään tuloilman määrät eri nopeuksilla.

Taulukko 21. Tuloilmavirrat puhaltimen TF1 eri pyörimisnopeuksilla.

TF1	Ilmavirrat [m ³ /s]	
Nopeus	1/1	1/2
Katsomoon	4,5	2,25
Kaukaloon	1,5	0,75
Yhteensä	6	3

Poistoilmapuhaltimella on vain yksi pyörimisnopeus ja puhaltimen ollessa käynnissä poistoilmavirran suuruus on $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Poistoilmapuhallin on esitetty kuvassa seitsemän.



KUVA 7. Poistoilmapuhallin PF1.

Puhaltimien SFP-luku voidaan arvioida kaavalla (D5 2012, 52):

$$\text{SFP} = P_{\text{puh}} / q_v \quad (4)$$

jossa SFP on puhaltimen ominaissähköteho, $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

P_{puh} on moottorin sähköteho, kW

q_v on puhaltimen ilmavirta, m^3/s

Puhaltimien sähköteho on määritetty laskennallisesti sähkömoottorin kilpiarvojen perusteella. Huomattavasti tarkempi menetelmä olisi sähkötehon pihtivirtamittaus ja ilmamäärien tarkastus. Moottorin nimelliskuorman mukaisten kilpiarvojen perusteella saadaan vain hyvin karkea arvio sähköenergiansiirto- ja kulutuksesta.

Kilpiarvojen perusteella on puhallinkäyttöille laskettu sähköteho, SFP-luku sekä sähköenergiansiirto- ja kulutus käyttöjakson aikana. Ilmanvaihtokoneen (TK1) on arvioitu

käyvän kahdeksan kuukauden käyttöjaksolla täydellä teholla 3840 h ja puolittaisella teholla 1920 h. Taulukkoon 22 on koostettu laskennallinen yhteenveto ilmanvaihtokoneen sähköenergiankulutuksesta.

Taulukko 22. Hallitilan ilmanvaihtokoneen puhaltimien energiankulutus.

TF1	Sähköteho [kW]	SFP-luku [kW/m ³ s]	Energiankulutus 8kk [kWh]
1/1	8	1,33	30720
1/2	1,5	0,5	2880
PF1			
1/1	3	1	11520
TK1	puhallinkäyttöjen sähköenergiankulutus		45120 kWh

Ilmanvaihtokone on säädetty toimimaan jäähallin toiminnan mukaan joko seisokki- tai ottelukäytöllä. Seisokkikäytöllä iv-koneen tehtävänä on lähinnä hallitilan lämmitys ja ilmankuivaus. Tuloilmapuhallin käy tällöin pienemmällä nopeudella, kiertoilmalla. Jäte- ja raitisilman säätöpellit ovat kiinni ja poistoilmapuhallin ei pyöri. Mikäli sisälämpötila kuitenkin alittaa asetetun alaraja-arvon 4 °C tai sisäilman suhteellinen kosteus ylittää asetetun yläraja-arvon 60 %, poistoilmapuhallin käynnistyy ja tuloilmapuhallin käy suuremmalla nopeudella. Tällöin poistopuhallin kierrättää ilmaa jäähdytyspatterin läpi, jolloin ilman kosteuspitoisuus saadaan pienenemään. Tuloilmapuhallin toimii tässä tapauksessa pelkästään kiertoilmalla ja kuivauksesta tulevalla palautusilmalla.

Ottelukäytössä tuloilmapuhallin käy suuremmalla nopeudella ja poistoilmapuhallin on myös käynnissä. Ottelukäyttö käynnistetään toimistosta halutuksi ajaksi (0–9 h) munakelloajastimella KS1. Mahdollisimman pieni ja tarpeenmukainen raitisilman määrä säädetään katsojamäärän mukaan välillä 1–2,2 m³/s raitisilman käsisäädön avulla. Kiertoilman säätöpelti on ottelukäytössä auki niin, että tuloilmapuhallin ottaa kiertoilmanmäärästä 50 %.

3.6 Rata-alueen valaistus

Valaistuksen osalta tarkastellaan työssä lähinnä rata-alueen valaistusta, sillä sen valaistusteho ja energiankulutus ovat huomattavasti suurempia muiden tilojen valaistuksiin verrattuna.

Pelialue on valaistu monimetallilampuilla, joiden yksittäinen sähköteho on 400 W. Yhden valaisimen valovirta on 32000 lm, jolloin valotehokkuudeksi lampulle saadaan 80 lm/W. Yhteensä pelialueella on 48 kappaletta monimetallilamppuja, jotka on asennettu kentän ylle ripustuskiskoon.

Valaistuksen sähkönottotehoa määriteltäessä on otettava huomioon myös muuntajan tai virranrajoittajan tarvitsema sähköteho. Valaistuksen kokonaisvalaisinteho on arvioitu laskennallisesti kaavan viisi avulla (SFS-EN 15193:2007, 34).

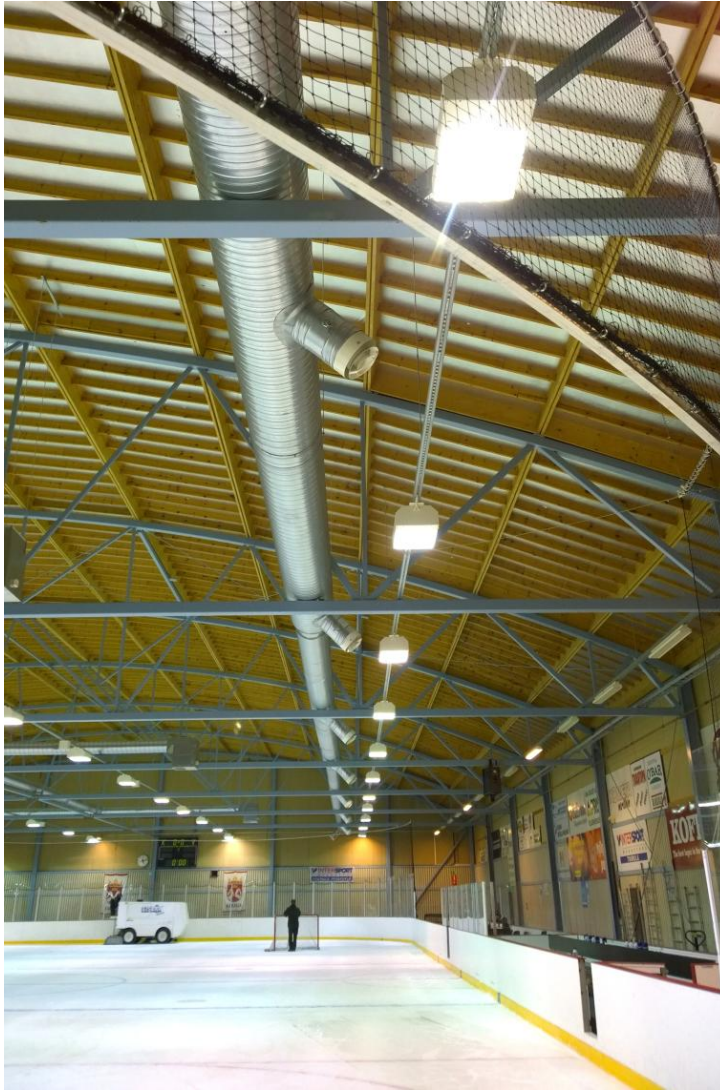
$$P_k = 1,2 \cdot P_v \cdot n \quad (5)$$

jossa P_k valaisimen kokonaisvalaisinteho, kW
 1,2 kerroin, jolla huomioidaan valaisimen liitäntälaitteen tehohäviö
 P_v valaisimen mitoitus-teho, kW
 n valaisimessa olevien lamppujen lukumäärä

Kaavan viisi avulla yhden valaisimen tarvitsemaksi kokonaisvalaisintehoksi saadaan:

$P_k = 1,2 \cdot 400\text{W} \cdot 1 = 480\text{ W}$. Rata-alueen kokonaisvalaisinteho on tällöin yhteensä noin 23 kW.

Kentän valaistusta ohjataan käsikäytöllä. Kilpailukäytössä kaikki lamput ovat päällä ja muuna aikana valaisimista vain noin kaksi kolmasosaa on käytössä. Valaistusta käytetään päivässä noin 16 tunnin ajan, arviolta 13 tuntia kilpailukäytöllä ja 3 tuntia 2/3-käytöllä. Kilpailukäytöllä kuluu hallin vuotuisen käyttöjakson aikana sähköenergiaa 72 MWh ja 2/3-käytöllä 11 MWh. Yhteensä rata-alueen valaistuksen arvioidaan kuluttavan sähköenergiaa vuotuisen käyttöjakson aikana noin 83 MWh. Kuvassa kahdeksan on esitetty käytössä oleva rata-alueen valaistus.

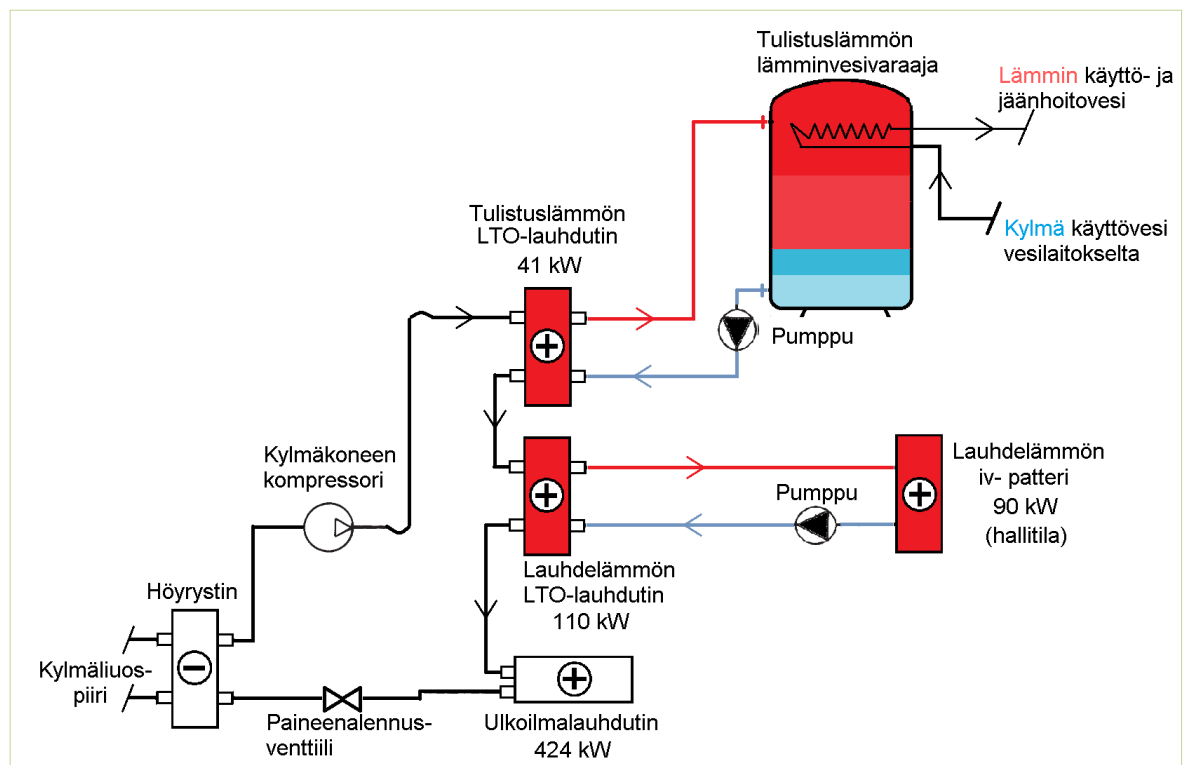


KUVA 8. Rata-alueen valaistus Tikkakosken jäähallissa.

4 TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

4.1 Lauhdelämmön tehokkaampi hyödyntäminen

Lauhdelämmön hyödyntäminen Tikkakosken jäähallissa on kohtalaisella tasolla. Lauhdelämpöä käytetään hyödyksi tällä hetkellä hallitilan tuloilman lämmityksessä ja tulistuslämpöä käyttö- ja jäänhoitoveden esilämmityksessä, kuvion 34 mukaisesti. Lauhde-energia tulisi voida kuitenkin käyttää hyödyksi mahdollisimman kattavasti, sillä hyödyntämättä jäänyt lauhdelämpö poistetaan tällä hetkellä lopulta kuitenkin ulkoilmalauhduttimien välityksellä hukkalämpönä ulkoilmaan. Mitä kattavammin lauhde-energia käytetään hyödyksi, sen vähemmän joudutaan kohteeseen ostamaan lämpöenergiaa eli kaukolämpöä.

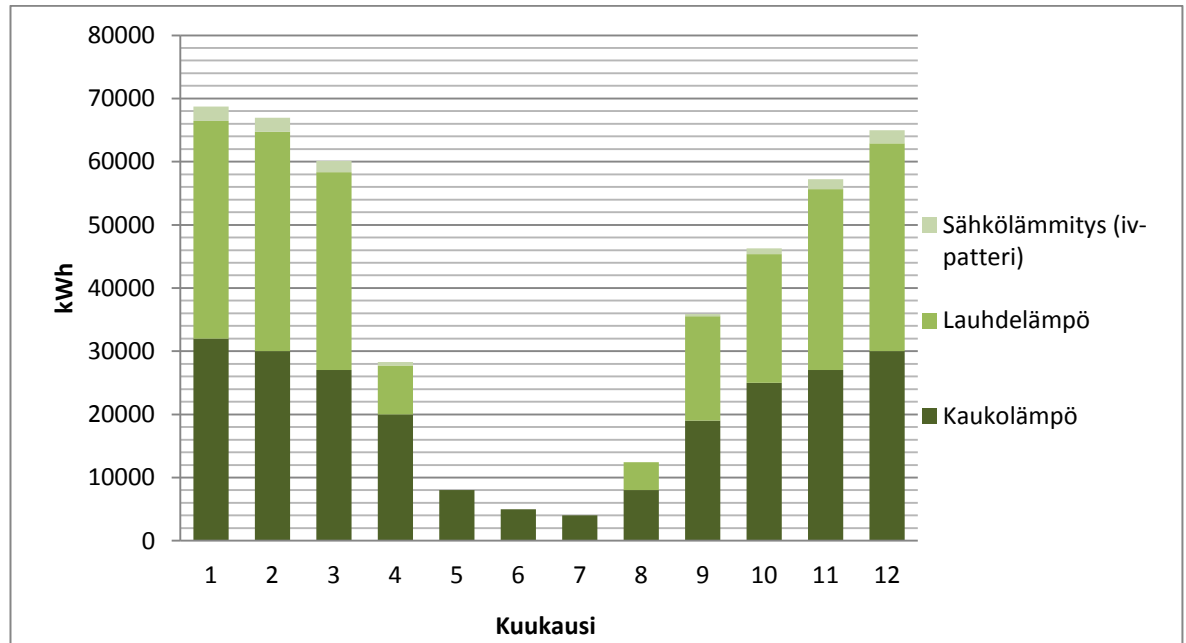


KUVIO 34. Käytössä oleva lauhdelämmön hyödyntämiskäytäntö (LVI-piirustukset 1996).

Lauhdelämmön osuus lämmityksessä on arvioitu laskennallisesti vähentämällä kuukausittaisesta kokonaislämpöenergiantarpeesta kaukolämmön ja sähkölämmityksen osuus. Laskelma kuukaudessa vapautuvaksi kokonaislauhdelämmöksi on

laskettu alempana. Taulukosta 23 havaitaan lauhdelämmön kattavan lämmitysenergian kokonaistarpeesta kuukausittain keskimäärin noin 25–50 %.

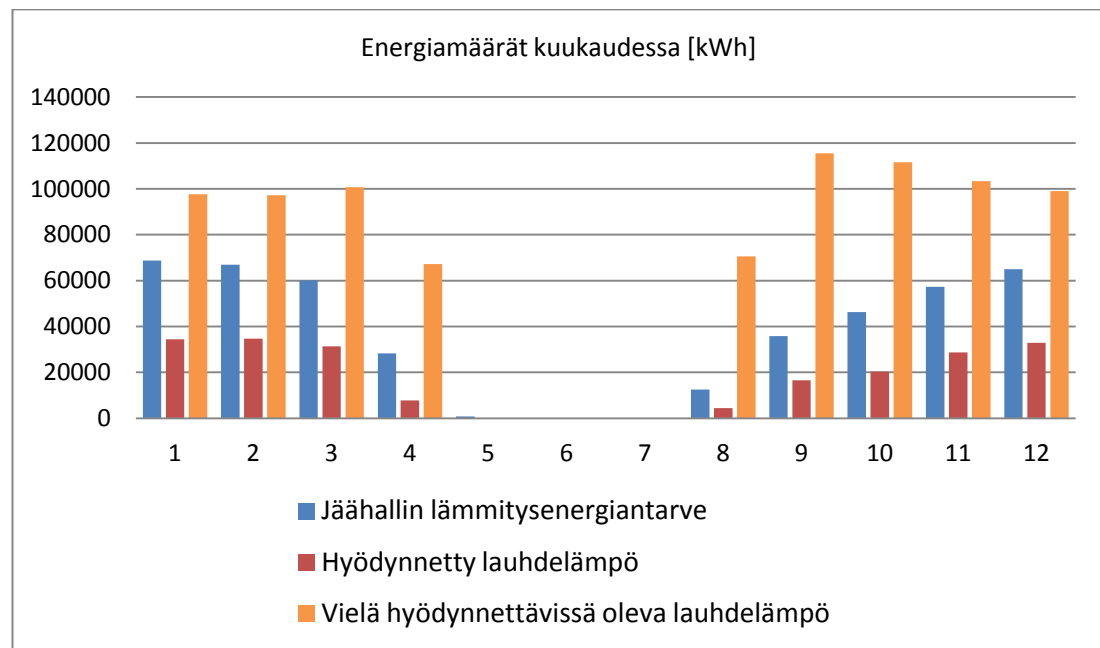
Taulukko 23. Jäähallin lämmitysenergian tarpeen kuitaavat lämmönlähteet.



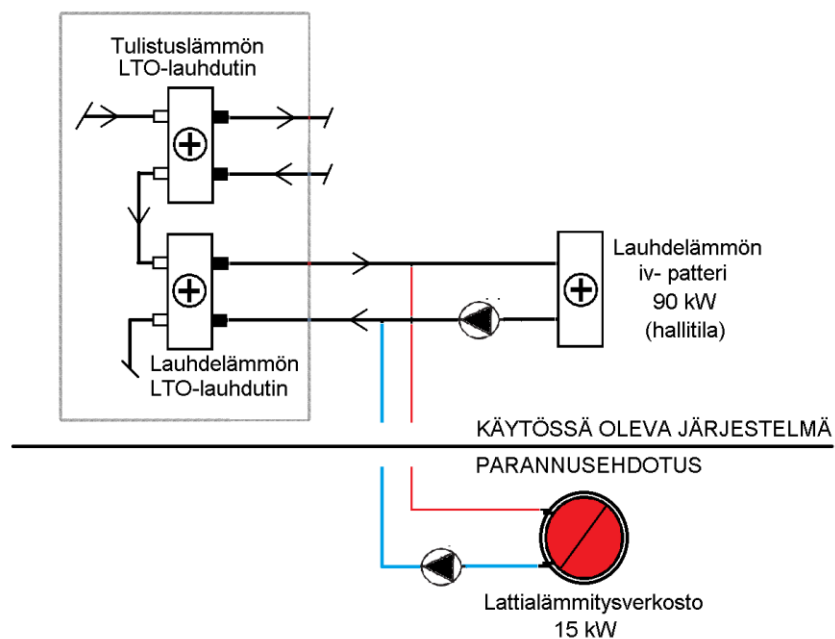
Hyödynnettävissä olevan kokonaislauhde-energian määrä vuodessa voidaan arvioida laskennallisesti, kun tiedetään kylmäkoneen kylmäkerroin ja sähköenergian kulutus vuodessa. Hyödynnettävissä olevan lauhde-energian määrä saadaan tuotetun jäähdytysenergian perustella. Jäähdytysenergia on kokonaan siirrettävä jääkentästä lauhduttavaan ympäristöön. Myös kylmäkoneiston sähkönkulutus vaikuttaa lauhde-energian määrään, sillä sähköteho muuttuu lopulta lämpöenergiaksi, josta osa siirtyy kylmäaineeseen tai -liuokseen ja osa kylmäkonekontin sisälle.

Kylmäkoneisto kuluttaa vuodessa 359 MWh sähköenergiaa ja kylmäkoneiston jäähdytyskauden kylmäkertoimen on laskennallisesti arvioitu olevan 2,5. Kylmäkone tuottaa jäähdytysenergiaa vuodessa arviolta siis 896 MWh. Arviolta puolet kylmäkoneiston käyttämästä sähköenergiasta muuttuu myös lauhdutettavaksi lämpöenergiaksi. Tällöin lauhde-energiaa olisi jäähdytyskaudella hyödynnettävissä yhteensä noin 1076 MWh. Lauhdelämpöä arvioidaan olevan hyödynnettävissä kuukausittain noin 132 MWh, paitsi vajaakäyttöisinä kuukausina huhti- ja elokuussa, jolloin arvio on 75 MWh. Pylvästaulukosta 24 havaitaan, että laskelmien perusteella lauhdelämpöä riittäisi vielä hyvin käytettäväksi lämmitysenergiana.

Taulukko 24. Lauhdelämmön arvioitu hyödyntämispotentiaali.

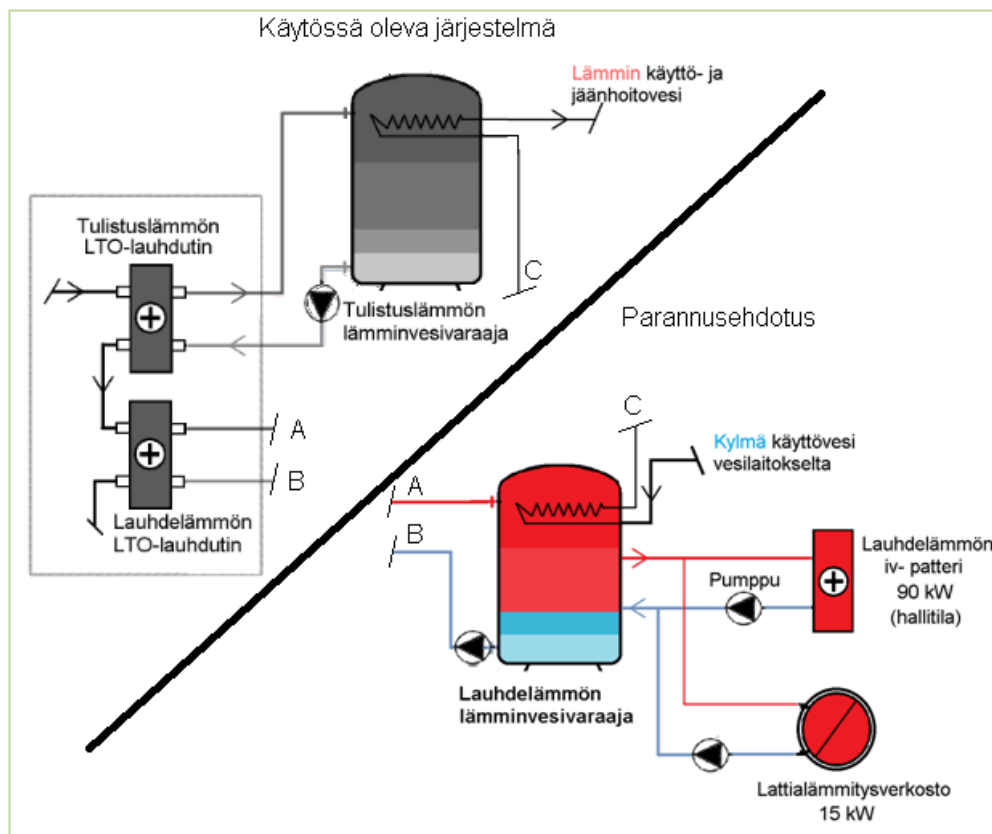


Nykyisessä lämmitysjärjestelmässä lauhdelämpöä voitaisiin tehokkaammin hyödyntää suoraan sellaisenaan esimerkiksi lattialämmityspiiriin menoveden lämmityksessä, esimerkiksi kuvion 35 mukaisesti. Lauhdelämmöllä voitaisiin kattaa kokonaan vuotuinen kaukolämmityksellä lämmitettävän lattialämmityspiirin lämmitysenergian tarve, eli noin 65 MWh.



KUVIO 35. Lauhdelämmön hyödyntäminen lattialämmityksessä (Käytössä oleva järjestelmä: LVI-piirustukset 1996).

Hyödyntämisen edellytyksenä on, että talteen otettua lämpö voidaan hyödyntää samanaikaisesti lämmityksessä. Lämmitystarpeen vaihtelua ja kulutuspiikkejä voitaisiin tasata hyvin lauhdelämmön varastoimisella erilliseen vesivaraajaan. Lämmönjakohuoneessa esimerkiksi tulistuslämmön lämminvesivaraajan viereen mahtuisi vielä myös lauhdelämmölle oma vesivaraaja, jolloin lauhdelämpöä olisi aina hyvin saatavilla lämmityksen käyttöön. Lauhdelämmön lämminvesivaraajaan voitaisiin liittää mahdollisesti myös muita lämmityspiirejä tai esimerkiksi käyttöveden esilämmityskierukka. Kuviossa 36 havainnollistetaan mahdollista esimerkkiratkaisua lauhdelämmön varastoimisesta ja hyödyntämisestä käyttöveden esilämmityksessä, lattialämmitteisten tilojen sekä hallitilan lämmityksessä.

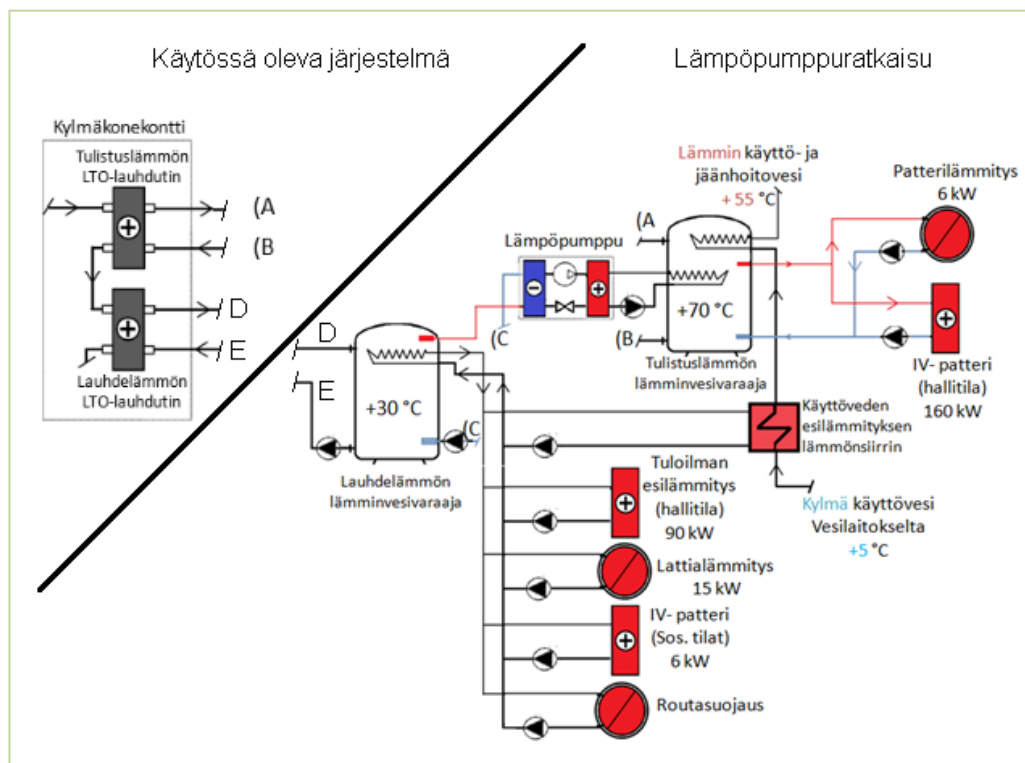


KUVIO 36. Tehostusesimerkki lauhdelämmön hyödyntämiseen
(Käytössä oleva järjestelmä: LVI-piirustukset 1996).

Mikäli kaukolämmitys halutaan korvata kokonaan lauhdelämmöllä, lauhdelämmön lämpötilaa tulee voida nostaa tai lämmitysjärjestelmää muuttaa lauhdelämmön lämpötilatasolle paremmin sopivaksi. Lauhtumislämpötilan nostoon soveltuu käy-

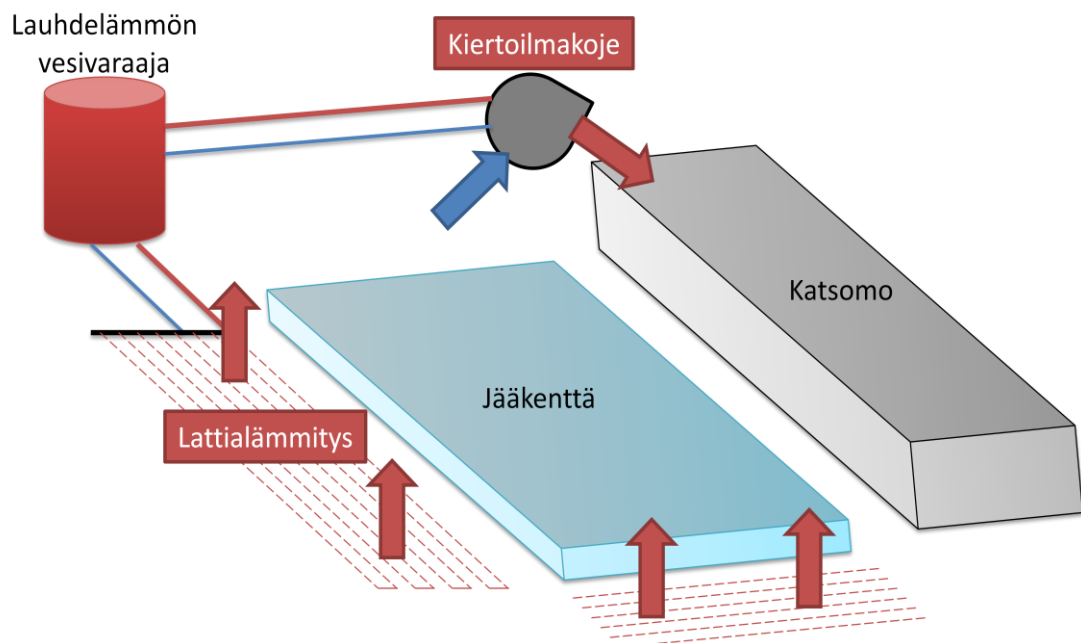
tettäväksi esimerkiksi lämpöpumppujärjestelmä. Tällöin lauhdelämmöllä voitaisiin kattaa kokonaan halli- ja sosiaalitilojen tuloilman, käyttö- ja jäähoidoveden sekä patteriverkoston menoveden lämmitys. Lämmitysjärjestelmän muuttamisratkaisu voisi olla esimerkiksi lattialämmityksen lisääminen hallitilaan.

Esimerkkiratkaisu kaukolämmön korvaamisesta lämpöpumpulla voisi olla kuvion 37 mukainen, jossa lauhdelämpöä varastoitaisiin erilliseen lämminvesivaraajaan ja tulistuslämpöä omaansa. Lauhdelämmön vesivaraajasta lämmitysenergia jaettaisiin suoraan lattialämmitykseen, sosiaalitilojen ilmanvaihdon ja hallin tuloilman esilämmitykseen. Tulistuslämmön lämminvesivaraaja lämmitettäisiin noin +60...+70-celsiusasteiseksi tulistuslämmön ja lämpöpumpun avulla. Lämpöpumpun höyrystin voitaisiin liittää esimerkiksi lauhdelämmön lämminvesivaraajaan, jolloin lauhdelämpöä hyödynnettäisiin myös tulistuslämmön vesivaraajan lämmittämisessä. Tulistuslämmön vesivaraajan avulla katettaisiin taas kokonaan patterilämmityksen, hallitilan tuloilman sekä käyttö- ja jäähnoitoveden lämmitysenergian tarve. Ratkaisulla voitaisiin käytännössä kokonaan kattaa kaukolämmön tarve, mutta vastaavasti sähköenergian kulutus lisääntyisi lämpöpumpun myötä.



KUVIO 37. Esimerkkiratkaisu lämpöpumpullisesta lämmitysjärjestelmästä
(Käytössä oleva järjestelmä: LVI-piirustukset 1996).

Lämmitysjärjestelmää ja etenkin käytettävää lämmönluovutustapaa voitaisiin pohdita myös muutettavaksi lauhdelämmölle paremmin sopivaksi. Esimerkiksi hallitilan lämmitysenergian tarpeesta osa voitaisiin kattaa lattialämmityksen avulla, jolloin lauhdelämpöä voitaisiin hyödyntää hallitilan lämmitykseen sellaisenaan, ilman lämpötilan nostamisen tarvetta. Lämmönjakotavan muutos vaatisi tässä tapauksessa lattialämmityspiirien asentamista hallitilaan. Myös lauhdelämpöön soveltuvat kiertoilmalämmittimet voisivat mahdollisesti soveltua käytettäväksi hallitilan ja katsomon lämmittämiseen. Havainnollistus lämmönjakotavan muutoksesta on esitetty kuviossa 38.



KUVIO 38. Hallitilan lämmityksperiaate lattialämmityksellä ja kiertoilmakojieilla.

Lauhdellämmön tehokkaampi hyödyntäminen voidaan toteuttaa hyvin monella erilaisella järjestelmällä ja kohteeseen parhaiten soveltuvan kokonaisratkaisun löytäminen vaatii erilaisten lämmitysjärjestelmien tarkkaa vertailua keskenään. Ammattitaitoisella lämmitysjärjestelmien LVI-suunnittelulla voitaisiin löytää soveltuvin ratkaisu.

Tässä työssä päädyttiin rajaamaan tarkastelu ainoastaan kuvion 36 mukaiseen ratkaisuun, jossa lauhdelämpöä varastoidaan vesivaraajaan ja hyödynnetään käyt-

töveden ja hallin tuloilman esilämmityksessä sekä lattialämmitteisten tilojen lämmityksessä. Vaihtoehto ei välttämättä ole energiatehokkuuden kannalta kaikkein paras, mutta siitä nähdään, miten jo suhteellisen yksinkertaisella lauhdelämmön tehokkaammalla hyödyntämisjärjestelmällä voitaisiin vaikuttaa Tikkakosken jäähallin energiatehokkuuden parantumiseen. Taulukkoon 25 on laskettu arviot lämmitysenergiantarpeesta lattialämmitykselle ja käyttövedelle, jotka tällä hetkellä kateetaan kaukolämmöllä. Taulukon energiamäärät voitaisiin arvioiden mukaan kattaa kokonaan lauhdelämmöllä.

Taulukko 25. Lämpöenergiansäästö kuvion 36 esimerkikiratkaisulla.

Lämpöenergia 8kk	
Lattialämmityspiiri (sos.tilat)	65 MWh
Käyttövesi (5 °C -> 15 °C)	12 MWh
Yhteensä	77 MWh

Lauhdelämmön käyttömahdollisuuksia myös hallin lähialueen rakennuksissa tulisi kartoittaa. Ensin tulee kuitenkin hyödyntää lauhde mahdollisimman kattavasti jäähallin omassa lämmitysjärjestelmässä. Lauhdelämpöä näyttäisi kuitenkin jäävän reilusti yli jäähallin oman lämmitysenergiantarpeen, jolloin sitä voitaisiin mahdollisesti myydä hyötykäyttöön korkeintaan noin puolen kilometrin säteellä hallista oleviin rakennuksiin. Mahdollinen ylimääräisen lauhteen hyötykäyttäjä voisi olla esimerkiksi Tikkakosken koulu. Mikäli tulevaisuudessa Tikkakoskelle päätettäisiin hallin viereen avata jälleen uimahalli, lauhdelämpö voisi soveltua erinomaisesti esimerkiksi sen käyttöveden esilämmittämiseen.

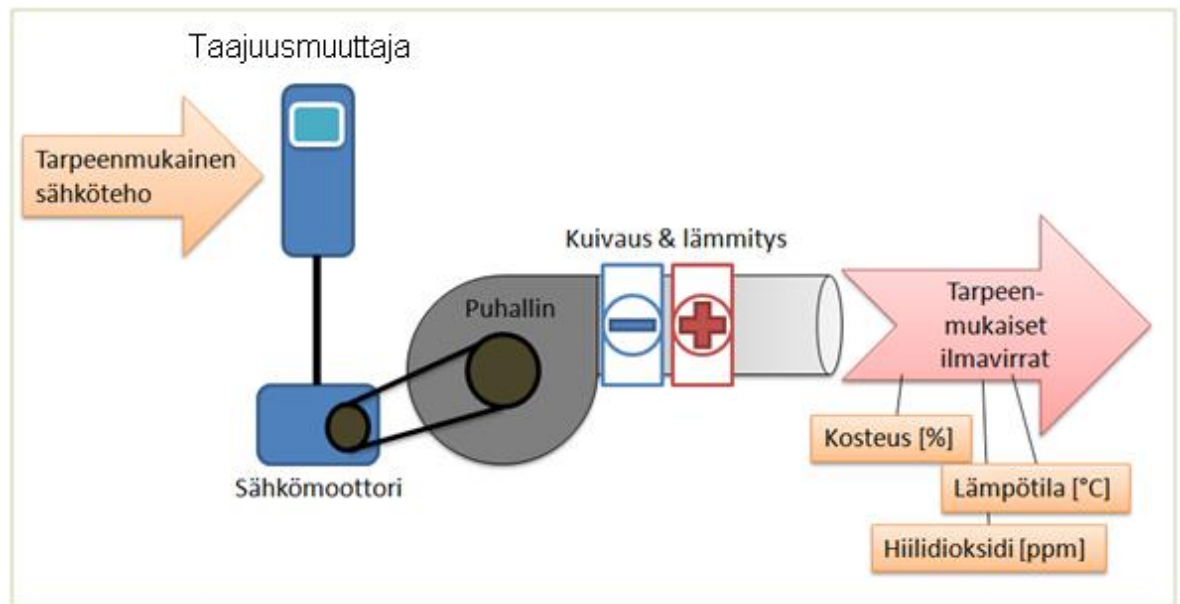
4.2 Tarpeenmukainen ilmanvaihto hallitilaan (TK1)

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla pyritään säätämään ilmavirran suuruutta sekä sen tarvitsemaa lämmitys- ja kuivausenergiaa aina todellisen tarpeen mukaan. Hyvä sisäilman laatu ja tarpeenmukainen ilmanvaihtuvuus voitaisiin varmistaa esimerkiksi hiilidioksidi-, kosteus- ja lämpötila-antureilla, esimerkiksi poistoilmanavaan ja/tai hallitilaan asennettuina.

Raitisilman tarve perustuu usein rakennuksessa olevaan henkilömäärään. Henkilöperusteisessa mitoituksessa raitisilmaa tarvitaan urheiluhalliin yleensä 6–8 l/s henkilöä kohden, tilan käyttötarkoituksesta riippuen. Käytössä olevalla käsikäyttöisellä kuristussäädöllä raitisilmavirta vaihtelee hallitilaan välillä 1,1...2,2 m³/s. Mikäli hallissa oleskelee esimerkiksi vain 60 henkilöä, henkilöperusteisen mitoituksen mukaan tarvittava raitisilmanmäärä olisi vain noin 0,5 m³/s. Tämä on kuitenkin ristiriidassa rakentamismääräysten kanssa, sillä (D2 2012) ohjearvojen mukaan rakennuksen ilmanvaihtokertoimen tulisi rakennuksen käyttöaikana olla aina vähintään 0,5 1/h. Tällöin raitisilmavirran tulisi Tikkakosken jäähallissa olla hallitilassa käytön aikana aina vähintään 2,2 m³/s. Käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihtokertoimen tulisi vastaavasti olla vähintään 0,2 1/h ja raitisilmavirran hallitilassa tällöin noin 1,2 m³/s. Näin ollen hallitilan raitisilman tarve perustuu ilmanvaihtokertoimien ohjearvoihin eikä raitisilmavirtaa ohjata henkilöperusteisen tarpeen mukaan.

Hallitilaan puhallettava tuloilma on ottelukäytöllä kuitenkin aina 6 m³/s ja seisokikäytöllä 3 m³/s. Hallitilan ilmanvaihdon mitoittavina tekijöinä voidaan pitää ilmakeuhkustusta, hiilidioksidipitoisuutta ja sisäilman lämpötilaa. Voidaan arvioida, ettei ottelukäytöllä ole aina tarpeenmukaista pyörittää puhaltimia pyörimisnopeudella, joka vastaa ilmavirtaa 6 m³/s.

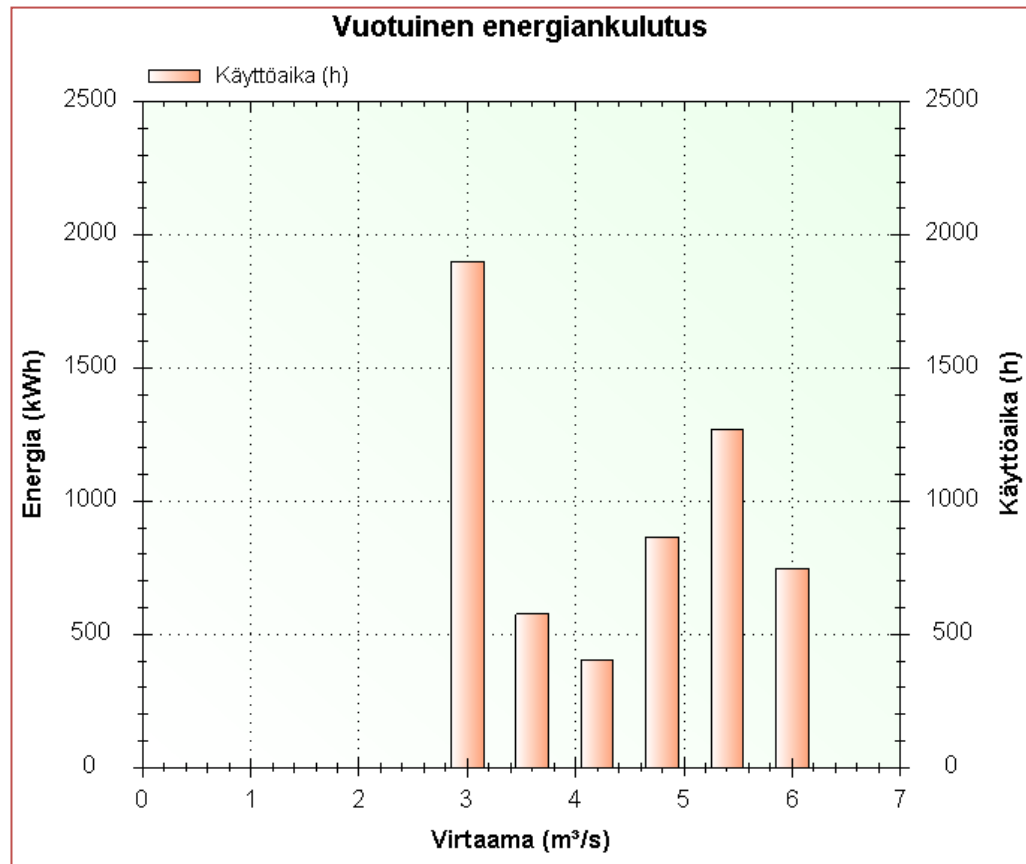
Todellinen tarve voitaisiin todentaa mittaamalla ilmankosteutta ja sisäilman lämpötilaa sekä tarvittaessa myös hiilidioksidipitoisuutta. Esimerkiksi taajuusmuuttajilla voidaan säätää puhaltimien sähkömoottoreiden pyörimisnopeutta portaattomasti. Taajuusmuuttajat voitaisiin ohjelmoida antamaan sähkömoottorille tehoa mitattujen tilatietojen mukaan. Taajuusmuuttajia hyödyntämällä ilmanvaihtokoneiden puhaltimet pyörisivät siis aina nopeudella, joka vastaisi aina tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. Puhaltimien tarvitsema pienempi pyörimisnopeus kuluttaisi sähkömoottorissa vähemmän sähköenergiaa. Kuviossa 39 on havainnollistettu taajuusmuuttajakäytön toimintaperiaatetta.



KUVIO 39. Taajuusmuuttajakäytön periaatekuva.

Esimerkiksi tuloilmapuhallin käyttää sähköenergiaa arviolta noin 33600 kWh kahdeksan kuukauden aikana. Tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa tuloilmavirrat vaihtelisivat portaattomasti välillä 3...6 m³/s. Esimerkiksi taulukon 26 mukaisilla ilmavirtaamilla tuloilmapuhaltimen sähköenergiankulutus olisi taajuusmuuttajien säädöllä käyttöjakson aikana laskennallisesti ainoastaan noin 27500 kWh. Tällöin sähköenergiaa säästyisi käyttöjaksolla tuloilmapuhaltimen osalta noin 6100 kWh. Vastaavalla esimerkillä poistoilmapuhaltimen sähköenergiaa säästyisi esimerkissä noin 800 kWh. Taajuusmuuttajakäyttöillä sähköenergiaa arvioidaan esimerkissä säästyvän yhteensä noin 6900 kWh.

Taulukko 26. Esimerkki tuloilmavirtojen tarpeenmukaisesta säädöstä (Laskenta suoritettu ohjelmalla Vacon Save v2.3.5).

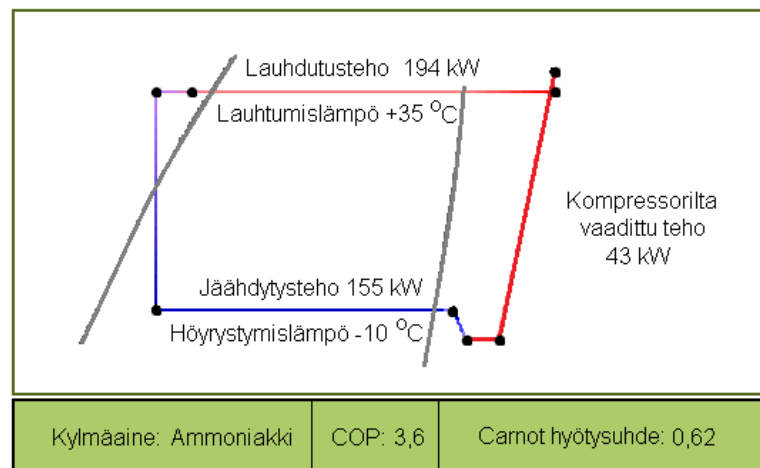
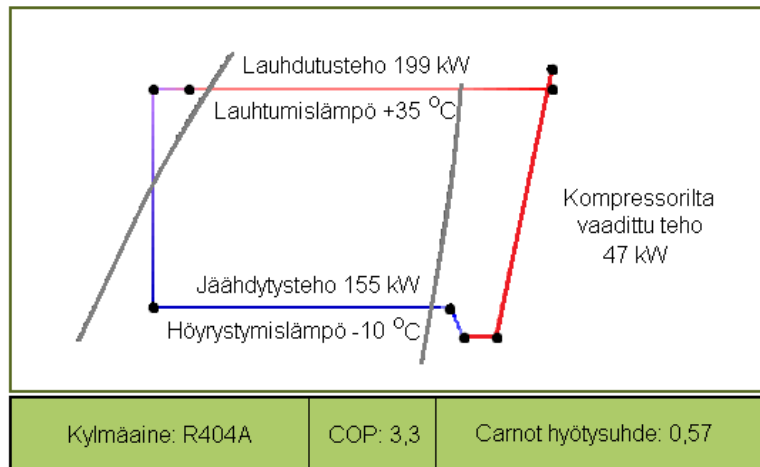


4.3 Kylmäkoneiston uusiminen

Kohteessa käytettävä kylmäkoneisto on 19 vuotta vanha. Kylmäkoneen käyttöikä nä voidaan pitää yleisesti noin kahtakymmentä vuotta. Tikkakosken jäähalliin onkin suunnitteilla kylmäkoneiston uusiminen vuoden 2015 aikana. Nykyisen kylmäkoneen säätömahdollisuudet ja käytetty laitetekniikka ovat osin vanhentunutta, ja sähköenergiankulutusta olisi mahdollista pienentää. Vanhassa koneistossa myös toimintavarmuus heikkenee ja huoltokulut kasvavat. Uuden kylmäkoneen energiatehokkuuteen olisi syytä kiinnittää erityistä huomiota.

Uuden kylmäkoneiston valinnassa nykyinen kylmäaine R404A olisi suositeltavaa vaihtaa uuteen. Nykyisen kylmäaineen käyttöä todennäköisesti tullaan lähivuosina rajoittamaan. Korvaavana kylmäaineena voitaisiin käyttää esimerkiksi ammoniakia. Ammoniakki on myös ominaisuuksiltaan energiatehokkaampi R404A:han ver-

rattuna. Kuviossa 40 on laskennallisesti vertailtu ammoniakin ja R404A:n toimintaa samoilla höyrystymis- ja lauhtumisarvoilla. Tuloksesta havaitaan ammoniakilla olevan tilanteessa parempi kylmäkerroin.



KUVIO 40. Ammoniakin ja R404A –kylmäaineen vertailu (Laskenta suoritettu ohjelmalla CoolPack).

Ammoniakkikoneikko maksaa investoinniltaan laitetoimittajan arvion mukaan noin 25 % enemmän muihin kylmäainekoneikkoihin verrattuna, mutta sillä olisi vastaavasti alhaisemmat energiakustannukset. Kuvion 40 perusteella arvioidaan ammoniakin voivan parantavan koko kylmäkoneen kylmäkerrointa noin 10 %.

Todellisessa käyttötilanteessa kylmäkerroin ammoniakin hyväksi on todennäköisesti jopa suurempi kuin esimerkissä esitetty. Ammoniakki pystyy toimimaan märkähöyrysteisessä järjestelmässä R404A:han verrattuna korkeammalla höyrystymislämpötilalla ja kuluttamaan näin ollen entistä vähemmän sähköenergiaa. Myös

kylmäkoneiden laitetoimittaja on arvioinut ammoniakilla saatavan noin 20–30 % sähköenergiankulutuksesta pois R404A:han verrattuna (Rakennuslehti 2014, 10).

Vanhan kylmäkoneen säätöautomaatiikassa olisi parannettavaa. Taajuusmuuttaja ohjatuilla kompressoreilla ja kylmäliuospumpulla voitaisiin vähentää sähköenergiankulutusta. Taajuusmuuttajien avulla sähkömoottorit pyörisivät aina kuormitusta vastaavalla nopeudella. Tällä hetkellä kylmäkoneen kompressoreista yksi käy yleensä jatkuvasti ja toinen käynnistyy rinnalle jäähdytystarpeen kasvaessa useita kertoja vuorokaudessa. Tällä ohjaus- ja säätötavalla tapahtuu kuitenkin suuria häviöitä sähköenergiankulutuksessa.

Kylmäliuospumppu aiheuttaa kylmäkoneelle myös lauhdutettavaa lämpökuormaa sähkötehonsa mukaan. Sähköverkosta otettu sähköenergia muuttuu lopulta lämpöenergiaksi, josta osa siirtyy kylmäliuokseen. Kylmäliuospumppua tulisikin voida myös ohjata tarpeenmukaisesti, jotta sähköenergiankulutus ja täten myös tuotettu lämpökuorma olisivat mahdollisimman alhaiset.

Kompressoria ja kylmäliuospumppuja ohjaavia taajuusmuuttajia voitaisiin ohjata esimerkiksi jääkentän betonilaatasta mitatun lämpötilan mukaan. Tarpeenmukainen jäähdytysteho voitaisiin siis säätää automaatiikan avulla, esimerkiksi käyttötarvetta vastaavan laattalämpötilan mukaan.

Jään lämpötilan tulisi siis voida aina vastata todellista tarvetta. Eri jääurheilulajit ja niiden eri harraste- ja kilpatasot asettavat jään lämpötilalle erilaisia vaatimuksia. Esimerkiksi kilpasarjan jääkiekko-ottelussa tarvitaan alhaisempaa jään lämpötilaa kuin koululiikunnassa. Haluttu laattalämpötila voitaisiin asettaa käsikäyttöisesti tai lukea ja säätää esimerkiksi automaatiikan avulla jäähallin vuoro- tai varauslistasta, esimerkiksi taulukon 27 mukaisesti.

Taulukko 27. Käyttöä vastaava tarpeenmukainen jään lämpötila.

Klo	Käyttö	Jään lämpötila (laatasta) [°C]	Tyypillinen lämpötila (laatasta) [°C]
7:00-10:00	Työpakkaliikunta	-3	-5
10:00-12:00	Ei käyttöä	-1,5	-5
12:00-14:00	Jääkiekko-ottelu	-5	-5
14:00-16:00	Yleisöluistelu	-3	-5
18:30-20:00	Taitoluistelu	-4	-5

Kylmäkoneet voitaisiin ohjelmoida myös sammumaan aina yöaikaan esimerkiksi aikavälille 03:00–05:00, jolloin jään lämpötilan annettaisiin nousta ja kylmäkone ei kuluttaisi aikavälillä tarpeettomasti sähköenergiaa.

Lauhtumislämpötilan alentamista voitaisiin myös harkita. Kylmäkoneen lauhdutuslämpötila on mitoitettu suurimman lämpökuormituksen mukaan. Lauhtumislämpötilan ei kuitenkaan välttämättä tarvitsisi olla ympäri vuoden yhtä korkea. Tällä hetkellä Tikkakosken jäähallin kylmäkoneen lauhtumislämpötila näyttäisi olevan aina +35 °C ulkoilman lämpötilasta riippumatta.

Lauhdepiirin lämpötilan säädöllä voitaisiin mahdollisesti myös pienentää kylmäkoneen sähköenergiankulutusta. Lauhdelämpötilaa ei voida kuitenkaan laskea liikaa, jotta muun muassa kylmäainekierrossa vaadittavat painetasot eivät laske liian alhaisiksi. Lauhtumislämpötila voisi olla kuitenkin esimerkiksi ammoniakkilaitoksella vain noin +25...+28 °C. Lauhtumislämpötilalla +28 °C kompressorin kylmäkerroin olisi ammoniakkikoneikossa noin 4,4 ja koko kylmäkoneen vastaavasti arviolta noin 3. Kylmäkerroin paranisi tällä lauhtumislämpötilalla vanhaan koneikkoon verrattuna noin 20 %. Mikäli lauhtumislämpötila olisi jäähdytyskaudella keskimäärin +28 °C, sähköenergiaa kuluisi vuosittain arviolta noin 60 MWh vähemmän vanhaan järjestelmään verrattuna.

Lauhdelämpötilan laskeminen lisäisi kuitenkin lämpöenergiantarvetta lauhdelämpöä hyödyntäviin lämmitysjärjestelmiin, etenkin lämmitysjärjestelmien mitoitustilanteissa. Kuitenkin esimerkiksi lattialämmityksen mitoitustilanteissa menovedelle on +30 °C, jolloin lämpötilaltaan alennettukin lauhdelämpö riittäisi vielä kattamaan suurimman osan käyttöjakson aikaisesta lattialämmitteisten tilojen lämmitystarpeesta. Lämmitystarpeen ollessa vähäinen lauhtumislämpötilan alentaminen olisi hyvinkin suositeltavaa. Tällä hetkellä valtaosa lauhdelämmöstä lauhdutetaan myös ulkoilmaan, joten lauhtumislämpötilan eli kompressorin tuottaman painetason laskeminen esimerkiksi ulkoilman lämpötilan mukaan olisi perusteltua.

Seuraavassa taulukossa 28 on vertailuesimerkki vanhan kylmäkoneen ja uuden ammoniakkikoneiston välillä. Uudelle kylmäkoneistolle on laskennallisesti saatu jäähdytyskauden kylmäkertoimen karkeaksi arvioksi 3,5.

Taulukko 28. Kylmälaitosten vertailuesimerkki.

Vertailuesimerkki	Vanha kylmä-koneisto	Uusi kylmä-koneisto	Kylmäkertoimen arvioitu muutos
Kylmäaine (ominaisuudet)	R404A	Ammoniakki	+10 %
Lauhtumislämmön säätö	Aina +35 °C	Säätö ka. +28 °C	+20 %
Säätö (kompressori ja pumput)	On/Off	Portaaton	+10 %
Kylmäkertoimen SEER -luku	2,5	3,5	
Sähköteho keskimäärin	62 kW	44 kW	
Sähköenergiankulutus	359 MWh	253 MWh	
Säästö vuosittaisessa sähköenergiankulutuksessa: 106 MWh			

Kylmäkoneiden laitetoimittajan tietojen mukaan uusien ammoniakkilaitosten kompressorien kylmäkerroin on jäähallikäytössä tavanomaisesti noin 3,5–4. Koko kylmäkoneen kylmäkertoimen arvioiksi uusille koneille, kylmäliuospumpun ja lauhdutinpuolen puhaltimien ja pumppujen sähköteho huomioituna saadaan tämän perusteella noin 2,8–3,3. Esimerkiksi uuden kylmäkoneen jäähdytyskauden kylmäkertoimella 3,3 saataisiin sähköenergiassa säästöjä vanhaan laitokseen verrattuna jäähdytyskaudelle noin 88 MWh.

Kylmäkoneen kylmäkerroin riippuu hyvin pitkälti toteutetusta järjestelmästä. Kylmäkoneiden toimittajien kylmäsuunnittelulla voitaisiin toteuttaa Tikkakosken jäähalliin parhaiten soveltuva kokonaisratkaisu. Mahdollisimman energiatehokkaalla valinnalla voidaan saavuttaa suuriakin säästöjä sähköenergiankulutuksessa vanhaan järjestelmään verrattuna. Uuden kylmäkoneen valinnassa tulisi kiinnittää huomiota myös käytettyjen sähkömoottoreiden hyötysuhteeseen ja lämmönsiirtimien lämmönsiirto-ominaisuuksien tehokkuuteen.

Kylmäkoneiston uusimisen yhteydessä olisi suositeltavaa suunnitella ja toteuttaa myös lauhdelämmön mahdollisimman kattava hyödyntämisjärjestelmä. Valitun uuden kylmäkoneen käyttämällä laitetekniikalla, esimerkiksi kompressorityypillä ja muun muassa käytetyllä kylmäaineella ja sen toimintalämpötiloilla, on paljon merkitystä lauhdelämmön talteenottojärjestelmän toteutusratkaisussa.

4.4 Jäänhoitoveden ominaisuuksien optimointi

Jäänhoitoveden käytössä tulisi kiinnittää huomiota käytettyyn veden lämpötilaan ja määrään. Käytetyn jäänhoitoveden lämpötilaa ei kohteessa juurikaan mitata ja vaihtelua lämpötilassa tapahtuu jäänhoidollisesta tilanteesta riippuen. Keskimääräinen arvio käytetylle jäänhoitoveden lämpötilalle on noin +40 °C. Jäänhoitokoneen vesisäiliö täytetään yleensä puoliväliin, jolloin käytetyn jäänhoitoveden määrä on noin 500 litraa jokaisella jäänhoitokerralla. Jäänhoitoja suoritetaan keskimäärin 10 kertaa vuorokaudessa.

Käytetyn veden määrää voidaan lukea jäänhoitokoneesta, mutta tarkempi tieto voitaisiin saada esimerkiksi täyttöpisteeseen asennetulla virtausmittarilla. Kuvassa yhdeksän esitettyyn jäänhoitokoneen säiliötäytön vesipisteeseen voitaisiin asentaa myös lämpömittari, jolla voitaisiin seurata käytetyn jäänhoitoveden lämpötilaa. Lisäksi myös termostaattiventtiili voitaisiin asentaa, jolloin voitaisiin paremmin säätää käytetyn veden lämpötilaa. Tällä hetkellä lämpötilaa ei mitata, mutta sitä säädetään käsikäyttöisten palloventtiilien avulla. Vesitäyttöpiste on esitetty kuvassa yhdeksän.



KUVA 9. Jäänhoitokoneen vesitäyttöpiste.

Jäänhoitoveden lämpötilan optimointi lämpötilan ja määrän suhteen vähentäisi paitsi jäänhoitoveden lämmityksentarvetta, myös kylmäkoneen sähköenergiankulutusta. Käytetyn jäänhoitoveden lämpötilan tulisi olla mahdollisimman alhainen, mutta silti sillä tulisi aikaansaada mahdollisimman hyvälaatuinen jää. Jäänhoitoveden optimointiin vaaditaan kokeellista lähestymistapaa. Tällöin tulisi löytää kokeellisesti ne mahdollisimman alhaiset raja-arvot jäänhoitoveden lämpötilalle ja määrälle, joilla vielä saataisiin aikaiseksi jääurheilukäyttöön hyvin soveltuva jää. Jäänhoitoveden lämpötilaa voidaan myös alentaa veden paremmalla käsittelyllä, esimerkiksi poistamalla siitä ilmaa.

Jäänhoitovedestä aiheutuva lämpökuormitus jääkenttään voidaan arvioida vuotuiselle käyttäjaksolle seuraavalla kaavalla kuusi (Laitinen ym. 2010, 53):

$$q_{\text{jää}} = \rho_v \cdot V_{\text{ajo}} \cdot n_{\text{ajo}} \cdot [c_{pv} \cdot (T_{jh} - 0) + l_j + c_{pj} \cdot (0 - T_{\text{jää}})] / 3600 \quad (6)$$

jossa $q_{\text{jää}}$ on lämpökuormitus (tarvittava jäähdytysenergia), kWh

ρ_v on veden tiheys, 1000 kg/m³

V_{ajo} on keskimääräinen vesimäärä ajoa kohti, m³/ajo

n_{ajo} on ajomääriä käyttäjaksolla, (2400 ajoa)

c_{pv} on veden ominaislämpökapasiteetti, 4,19 kJ/kgK

T_{jh} on jäänhoitoveden lämpötila, °C

l_j on jäätymisen faasimuutoslämpö, 334 kJ/kgK

C_{pj} on jään ominaislämpökapasiteetti, 1,8 kJ/kgK

$T_{\text{jää}}$ on jään keskilämpötila käyttäjaksolla, °C

3600 on kerroin, joka suorittaa laatumuunnoksen (kJ -> kWh)

Taulukkoon 29 on havainnollistettu optimoinnin energiansäästöpotentiaalia. Taulukossa on tarkasteltu jäänhoitoveden lämpötilan ja määrän vaikutusta jääkenttään tuotettuun lämpökuormaan ja lämmitysenergian tarpeeseen. Jään keskimääräisenä lämpötilana on käytetty arvoa -3 °C. Mikäli jäänhoitovettä käytettäisiin 500 litran sijasta keskimäärin 450 litraa jokaisella jäänhoitokerralla ja veden keskimääräinen lämpötila laskisi 40 °C:sta 30 °C:seen, jäähdytysenergian tarve vähenisi tällöin jäähdytyskaudella noin 30 MWh. Kylmäkoneen sähköenergian tarve vähenisi kylmäkertoimella 2,5 tällöin noin 12 MWh. Myös kokonaisvesimäärän lämmittämiseen tarvittaisiin 14 MWh vähemmän lämpöenergiaa.

Taulukko 29. Jäänhoitoveden ominaisuuksien vaikutus energiankulutuksiin.

Vesimäärä 450 l / ajo	Yksiköt: MWh	
Jäänhoitoveden lämpötila keskimäärin	Lämpökuorma jäähän(8kk)	Lämmitysenergian tarve (8kk)
50 °C	164	56
40 °C	152	45
30 °C	140	32
Vesimäärä 500 l / ajo		
Jäänhoitoveden lämpötila keskimäärin	Lämpökuorma jäähän(8kk)	Lämmitysenergian tarve (8kk)
50 °C	183	63
40 °C	170	49
30 °C	155	35
Yhteenveto 40 °C -> 30 °C	Lämpökuorma jäähän(8kk)	Lämmitysenergian tarve (8kk)
10 °C:n lämpötilan lasku	13	13
50 litran vähennys / ajokerta	17	3
Säästövaikutus yhteensä	30 MWh	14 MWh

Taulukon 34 mukaisilla energianhinnoilla säästöä kertyisi energiankustannuksissa yhteensä noin 2300 € vuodessa. Tämän lisäksi vedenkulutus vähenisi 120 m³, jolloin myös vesimaksuissa säästyisi vuodessa noin 550 €. Mikäli huomioidaan kuitenkin vielä tulistuslämmön kattavan noin 70 % veden lämmitystarpeesta, kokonaissäästöä esimerkin mukaisilla toimenpiteillä kertyisi kohteeseen yhteensä noin 2500 € vuosittain. Nykyisillä energianhinnoilla ja 20 vuoden tarkastelujaksolla säästöjä kertyisi yhteensä noin 50000 €.

4.5 Jään paksuuden optimointi

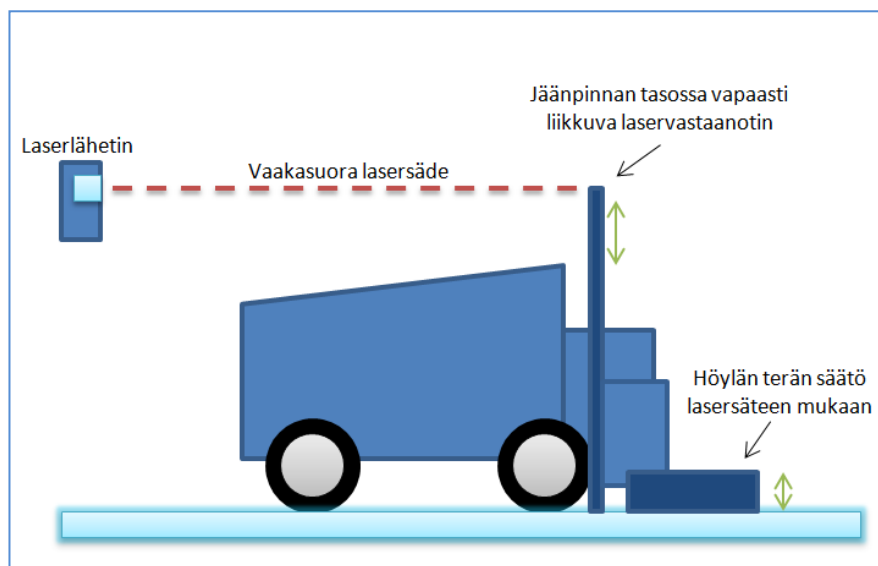
Energiat ehokkaan jään tulisi olla mahdollisimman ohut ja lämpötilaltaan mahdollisimman korkea. Mitä paksumpi ja kylmempi jääkenttä on, sitä enemmän kylmäkoneelta tarvitaan kylmätehoa. Jään lämpötilavaatimukseen vaikuttaa etenkin jääurheilulaji. Paksuus taas riippuu pitkälti jäähoidon tasosta, pohjarakenteesta ja käytettävissä olevasta laitteistosta.

Tikkakosken jäähalliin on suoritettu korjaustoimenpide vuonna 2012, jolloin jääkentän alapohjarakennetta on parannettu. Vanha ja suhteellisen epätasainen asfalttikerros on vaihdettu uuteen betonilaattaan, jolloin on aikaansaatu tasaisempi laattarakenne ja jäänpaksuus.

Jäänpaksuutta mitataan Tikkakosken jäähallissa yleensä kerran viikossa. Mittavälineinä käytetään porakonetta ja mittanauhaa. Alhaisin saatu mittaustulos, eli niin sanottu minimimäärä kirjataan ylös ja tämän perusteella suoritetaan tarvittavia toimenpiteitä jäähoidossa. Energiatehokkaan jäänpaksuuden tulisi olla noin 20–30 mm. Jäänpaksuus vaihtelee kohteessa mittauspaikasta ja -ajankohdasta riippuen. Vaihteluväli on minimimäärän mittauksissa ollut keskimäärin noin 25...45 mm. Jäähoidon tasoa voidaan näiden mittausten perusteella pitää kohtalaisen hyvänä.

Jäätä kerääntyy kuitenkin helposti esimerkiksi kaukalon reuna-alueille, jolloin paksuuntunut jääkerros aiheuttaa lisääntynyttä sähköenergian tarvetta kylmäkoneessa. Porakonemenetelmässä käytetyt mittausvälineet eivät mahdollista nopeaa mitaussuoritusta eivätkä välttämättä parhaita mittaustarkkuuttakaan. Myös mittauksen suorittaminen kerran viikossa ei mahdollista kovinkaan nopeaa reagoimista mahdollisiin jäänpaksuudessa tapahtuviin muutoksiin. Mittaus tulisi voida suorittaa useammin ja käytettävää mittalaitteistoa voitaisiin pohtia muutettavaksi.

Esimerkiksi ICEguard-järjestelmän avulla jäähoidokoneen höylän terää voitaisiin säätää lasersäteen mukaan. Tällöin pystyttäisiin heti jäähoidon yhteydessä reagoimaan liian paksuun jääkerrokseen ja saataisiin haluttu, tavoitetason mukainen jäänpaksuus. (ICEguard.) ICEguard-laitteen toimintaa on esitelty kuviossa 41.



KUVIO 41. Periaatekuva ICEguard-järjestelmän toiminnasta (ICEguard).

Asiantuntija-arvion ja teoreettisten laskelmien mukainen arvio jään paksuuden suuruusluokkaisesta vaikutuksesta kylmäkoneen energiankulutukseen on esitetty taulukossa 30. Kylmäkoneen ominaisuuksista riippuen jään vuotuisen keskipaksuuden ohennus 40 mm:stä 30 mm:iin vastaa noin 5 MWh sähköenergiankulutuksen vähenemistä kahdeksan kuukauden jäähdytyskaudella (Laitinen 2015).

Taulukko 30. Jäänpaksuuden vaikutus sähköenergiankulutukseen.

Jäähdytyskausi	8 kk
Jään keskipaksuuden muutos	40 mm -> 30 mm
Kylmäkoneen sähköenergiankulutuksen väheneminen	5 MWh

Taulukon 34 mukaisilla energianhinnoilla säästöä kertyisi näillä lähtötiedoilla sähköenergian kustannuksissa yhteensä noin 600 € jäähdytyskaudella. Nykyisillä energianhinnoilla ja 20 vuoden tarkastelujaksolla säästöjä kertyisi yhteensä noin 12000 €.

4.6 Rata-alueen valaistuksen uusiminen

Valaistuksen vaihtamisella energiatehokkaammaksi pyritään pienentämään sähköenergian lisäksi myös huoltotarpeen ja jäähän kohdistuvan lämpökuorman määrää. Uuden valaistuksen suunnittelun lähtökohtana on yleensä haluttu taso valaistusvoimakkuudelle. Jääkiekkoliitto on antanut ohjearvoja jäähallien eri valaistustasoille. Energiatehokkain tapa ei kuitenkaan välttämättä ole vaihtaa uusia valaisimia suoraan yksi yhteen vanhojen valaisimien kanssa. Hyvällä valaistussuunnittelulla voidaankin toteuttaa mahdollisimman energiatehokas ratkaisu, esimerkiksi optimoimalla tarvittavien uusien valaisimien lukumäärä.

Tässä työssä tarvittava uusien valaisimien lukumäärä on kuitenkin selvitetty vanhan valaistuksen kokonaisvalovirran avulla. Saatu valaisimien lukumäärä on todennäköisesti energiatehokkuuden optimoinnin kannalta liian suuri. Menettelyllä saadaan kuitenkin selville jo karkea kartoitus valaistuksen uusimisella saatavasta sähköenergiansäästöstä. Työssä tarkasteltavaksi uudeksi valaistusvaihtoehdoksi

rata-alueelle valittiin led-valaistus, sillä led-valaisimien käyttö jäähallien valaistuksessa on viime vuosina yleistynyt myös korjauskohteissa. Led-valaisimien hyötysuhde on myös verrattain hyvä ja sen odotetaan entisestään parantuvan lähivuosina.

Tarkasteluun valikoituneen jääurheilukäyttöön soveltuvan led-valaisimen valovirran on ilmoitettu olevan 15000 lm ja kokonaisvalaisintehon 125 W. Tällöin uuden valaisimen valotehokkuudeksi saadaan 120 lm/W. Vanhan valaistusjärjestelmän kokonaisvalovirta on 1536000 lm ja tämän korvaamiseksi tarvitaan arviolta noin 102 kappaletta uusia led-valaisimia. Valaistussuunnittelulla tarvittava valaisimien lukumäärä voidaan kuitenkin saada optimoitua paljon vähemmäksi.

Led-valaistuksen kokonaisvalaisinteho rata-alueella saadaan, kun asennettavien led-valaisimien lukumäärä kerrotaan yhden valaisimen kokonaisvalaisinteolla.

$$P_v = 125 \text{ W/kpl} \cdot 102 \text{ kpl} = 12800 \text{ W} \quad (7)$$

Valaistuksen uusimisella tehontarve pienenee 23,0 kilowatista 12,8 kilowattiin eli valaistukseen tarvittava sähköteho pienenee noin 46 %. Sähköenergiaa säästyisi esimerkin mukaisella led-valaistuksella noin 37 MWh vuodessa. Alla olevassa taulukossa 31 on esitetty sähköenergiankulutuksen vertailulaskelma valaistusjärjestelmien kesken. Tarvittava sähköenergian määrä saadaan, kun valaistuksen käyttöaika kerrotaan valaistuksen teholla.

Taulukko 31. Led-valaistuksella saatava säästö sähköenergiankulutuksessa.

Valaistuksen sähköenergiankulutus			
Käyttöaika	Ottelukäyttö 3120 h	2/3 käyttö 720 h	Yhteensä (8kk, 3840h)
Monimetallilamput (23,0 kW)	72 MWh	11 MWh	83 MWh
Led-valaistus (12,8 kW)	40 MWh	6 MWh	46 MWh
Säästö energiankulutuksessa	32 MWh	5 MWh	37 MWh

Valaisimien pienemmän sähkönkulutuksen lisäksi pienempi valaistusteho kohdistaisi vähemmän lämpökuormaa jääkenttään, jolloin myös kylmäkoneen sähköenergiankulutus vähenisi. Toisaalta lämpöenergian tarve hallitilaan kasvaa pienentyneen lämpökuorman seurauksena. Led-valaisimien paloaika on myös pitkä, noin

50000–80000 h, eli noin 13–20 vuotta. Vanhojen valaisimien käyttöikä on vain noin 10000–12000 h, jolloin myös led-valaisimien vaihtoväli on huomattavasti pitempi.

Led-valaistuksessa on myös hyvät valaistusvoimakkuuden säätömahdollisuudet. Valaistusta tulisikin voida ohjata kohteessa paremmin aina käytön mukaan, esimerkiksi taulukon 32 mukaisesti. Esimerkiksi 20 lapsen luistelutunnilla ja kentän huoltotöiden aikana ei välttämättä ole tarpeenmukaista käyttää samaa valaistusvoimakkuutta kuin esimerkiksi jääkiekon kilpasarjojen turnausotteluissa. Uusi valaistus tulisikin varustaa myös hyvällä himmennyksen tai valaistusvoimakkuuden säädöllä, jolloin myös tarpeenmukaisella valaistuksen käytöllä saataisiin parempi energiatehokkuus.

Taulukko 32. Esimerkki valaistustason säädöstä käytön mukaan.

Klo	Käyttö	Valaistustaso
7:00-8:00	Jäänhoito	35 %
8:00-10:00	Koululiikunta	50 %
10:00-12:00	Työpaikkaliikunta	50 %
12:00-14:00	Jääkiekko-ottelu	100 %
14:00-16:00	Yleisöluistelu	50 %
16:00-18:30	Jääkiekko-ottelu	100 %
18:30-20:00	Taitoluistelu	100 %
20:00-23:00	Harrastekiekko	50 %
23:00-07:00	Ei käyttöä	0 %

4.7 Muut ehdotukset

4.7.1 Vedenkulutuksen vähentäminen

Vedenkulutusta voidaan vähentää virtaaman pienentämisellä, vettä säästävillä vesikalusteilla, käyttötottumuksiin vaikuttamalla ja mahdollisten vesivuotojen nopealla korjaamisella. Vedenkulutusta kohteessa voidaan vähentää myös jäänhoitoveden määrän optimoinnilla, jota on käsitelty luvussa 4.4.

Vesikalusteille olisi saatava vettä rakentamismääräysten mukaan taulukon 33 mukaisilla normivirtaamilla. Katselmuksessa vesikalusteiden vesivirtaamia ei mitattu,

joten vesikalusteiden virtaamat tulisikin ehdotettuna jatkotoimenpiteenä tarkistaa mittaamalla ja tarvittaessa rajoittaa virtaamia. Virtaamaa voidaan alentaa esimerkiksi vesijohtoverkoston painetason alentamisella paineenalennusventtiilin avulla.

*Taulukko 33. Mitoituksen normivirtaamat vesikalusteille
(D1 2007, 35).*

Vesipiste	Normivirtaamat dm ³ /s	
	Kylmä vesi	Lämmin vesi
Pesuallas	0,1	0,1
Suihku	0,2	0,2
WC-istuin	0,1	

Vedenkulutus riippuu suuresti myös käyttäjien vedenkulutustottumuksista. Esimerkiksi pukuhuoneisiin voitaisiin tuoda tiedotteita tai osuvia ”mainonta-julisteita” vedenkulutuksen aiheuttamista säästövaikutuksista ja pyrkiä tällä toiminnalla vaikuttamaan paremmin käyttäjien vedenkulutustottumuksiin.

WC-istuimien vaihdoilla olisi mahdollisesti myös saatavissa vesisäästöjä. Käytössä olevien WC-istuimien huuhtelu kuluttaa vettä arviolta noin 7–10 litraa/huuhtelu. Nykyaikaiset WC-istuimet kuluttavat kaksoishuuhtelutoiminnolla vettä ainoastaan noin 4 tai 2 litraa huuhtelukerralla. Tikkakosken jäähallin vesikalusteisiin on suihkutiloissa asennettu painonappiventtiilit, joilla on yleisesti todettu olevan vedenkulutusta vähentävä vaikutus. WC-istuimien, vesihanojen ja muiden vesikalusteiden mahdollisia vesivuotoja tulisi myös jatkuvasti tarkkailla ja niistä ilmoittaminen ja korjaus tulisi aina suorittaa mahdollisimman nopeasti.

4.7.2 Tiiveyden parantaminen tuulikaapilla

Jäähallin tiiveyden parantamisella vuotoilman aiheuttamaa lämpökuormaa, lämmitys- tai kuivaustarvetta voitaisiin pienentää. Talvikausilla vuotoilma aiheuttaa lämmityksen tarvetta ja etenkin elo- ja syyskuussa taas lämpökuormaa jäähän. Myös ilmankuivauksen suurempi tarve vuotoilman takia on mahdollista ainakin huhti-, elo- ja syyskuussa.

Hallin ulkovaipan ilmanvuotoluvun tulisi olla alle 1 (n_{50}) (Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka 2007, 62). Tiiveydestä ei löytynyt mittaustuloksia, joten myös tiiveysmittausta voisi harkita suoritettavaksi.

Rakenneosat näyttivät silmämääräisesti olevan kohtalaisen ilmatiiviitä, mutta ehkäpä helpoin keino parantaa tiiviyttä olisi asentaa pääsisäänkäyntioven tuntumaan tuulikaappi. Tuulikaapilla voitaisiin mahdollisesti vähentää vuotoilman suoraa virtausta pääsisäänkäyntioven kautta ja parantaa näin jäähallin energiatehokkuutta. Kuvasta kymmenen nähdään käytössä oleva sisäänkäynti jäähalliin.



KUVA 10. Tikkakosken jäähallin pääsisäänkäynti.

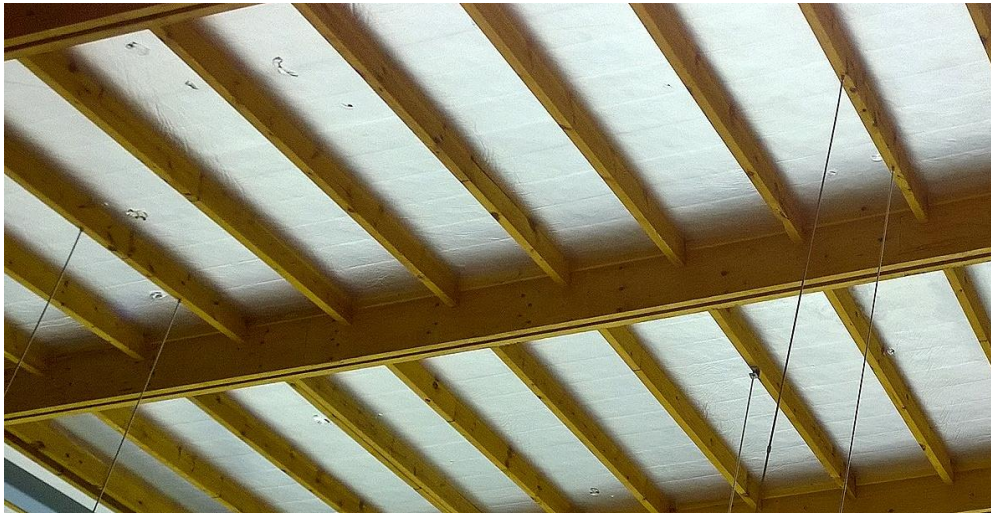
4.7.3 Jäähän kohdistuvien lämpökuormien minimointi

Jäähän kohdistuvien lämpökuormien minimointi on tärkeää, jotta kylmäkone kuluttaisi mahdollisimman vähän sähköenergiaa. Suurimpia lämpökuormia jäähoidon lisäksi aiheutuu säteily- ja konvektiolämmönsiirrosta.

Säteilylämmönsiirron lämpökuormaa voitaisiin mahdollisesti vähentää yläpohjan puurakenteen matalaemissiviteetti-pinnoilla. Kuvasta 11 nähdään, että yläpohjarakenne on sisäpuolelta pääosin peitetty matalaemissiviteettipinnoilla, mutta yläpoh-

jan kantavia puurakenteita ei. Jäähän kohdistuva säteilylämpökuorma voisi vähentyä, mikäli myös puurakenteet peitettäisiin kokonaan lämpösäteilyä vähentävällä pinnalla. Puun emissiviteetti on noin 0,9 ja matalaemissiviteettipinnan vain noin 0,03...0,1. Puupinta siis säteilee lämpöenergiaa jääkenttään huomattavasti enemmän kuin matalan emissiviteettiarvon pintamateriaali.

KUVA 11. Yläpohjan sisäpinnan rakenne.



Ilmavirtojen säätö ilmanvaihtosuunnitelmien mukaisiksi voisi myös pienentää konvektiolämmönsiirtoa hallin ilmasta jäähän. Mikäli jääkentän päälle puhallettava tuoloilma on suunnitteluarvoihin nähden huomattavan suuri, tästä voi aiheutua tarpeetonta jäähän kohdistuvaa lämpökuormaa. Ilmavirrat tulisivat mitata ja tarvittaessa säätää.

Voitaisiin myös tutkia, olisiko jääkentän yöaikaisella peittämisellä vaikutusta lämpökuormituksen vähenemiseen. Ainakin teoriassa jään peittäminen yöajaksi voisi vähentää etenkin säteily- ja konvektiolämmönsiirron aiheuttamaa lämpökuormitusta jääkenttään.

4.7.4 Uusiutuvan energian hyödyntäminen

Ilmaisenergioiden hyödyntämisessä lauhdelämmön tehokas hyödyntäminen on todennäköisesti kannattavin vaihtoehto. Esimerkiksi aurinko- ja maalämmön käyttö jäähalleissa ei ole kovinkaan kannattavaa syntyvästä lauhdelämmöstä johtuen.

Paikallisesti tuotettua uusiutuvaa energiaa voitaisiin kuitenkin käyttää hyödyksi etenkin sähköntuotannossa. Ostettavaa sähköenergiaa voitaisiin korvata esimerkiksi aurinkopaneeleilla tai tuulivoimaloilla. Näistä kohteeseen todennäköisesti soveltuvin vaihtoehto olisi aurinkosähkö, sillä tuulivoimalalle aiheuttaa paljon ehtoja muun muassa lähialueen asutus.

Aurinkosähköenergian käyttöä jäähallien tapauksissa voidaan pitää varteenotettava vaihtoehtona ainakin Kymäläisen (2014), sekä Takalan (2014) mukaan. Tikkakosken jäähalliin voitaisiinkin kartoittaa mahdollisuutta aurinkoenergian hyödyntämisestä.

Jäähallien jäähdytysratkaisuissa herää Suomen talviolosuhteissa myös kysymys: voitaisiinko Suomen talven kylmimpiä vuorokausia jotenkin hyödyntää vapaajäähdytysjärjestelmällä, joka keventäisi kylmäkoneen jäähdytystehontarvetta? Tämän aiheen tutkimista ja järjestelmän kehittämistä voitaisiin myös pohtia.

5 KANNATTAVUUSARVIONTI

5.1 Laskennan lähtötiedot

Energiatehokkuutta parantavien investointien kannattavuutta arvioidaan ensisijaisesti investoinnin tuottaman energiasäästön ja takaisinmaksuajan tarkastelulla. Investoinnin tuoton tarkastelussa selvitetään, paljonko investointi on säästänyt energiakustannuksissa 20 vuoden tarkastelujakson aikana. Takaisinmaksuajan laskenta vastaavasti kertoo, kauanko aikaa kuluu, että investointi maksaa itsensä takaisin investoinnin tuomilla säästöillä. Yleisesti investoinnin takaisinmaksuaika saa olla järjestelmästä riippuen enintään 10–20 vuotta.

Kannattavuus arvioidaan karkeasti, jolloin nähdään suuntaa-antavasti, onko valittu investointi energiatehokkuuden parantamiseksi selvästi kannattava vai kannattamaton arvioitujen lähtötietojen perusteella. Jokaiselle laskennassa mukana olevalle parannusehdotukselle arvioidaan karkea investointikustannus, joka sisältää tarvittavat laite- ja materiaalihankinnat sekä työtehtävät. Kustannusarviot investoinneille on esitetty liitteessä 5.

Laskennassa käytettävät sähkö- ja lämpöenergian sekä käyttöveden hinnat on luettu Jyväskylän energian hinnastosta (2015). Laskennassa käytettävät energioiden kokonaishinnat on esitetty alla olevassa taulukossa 34. Hinnat sisältävät energiansiirtomaksut ja verot.

Taulukko 34. Laskennassa käytettävät hinnat.

Sähköenergia	0,115 €/kWh
Lämpöenergia	63,75 €/MWh
Vesi	4,62 €/m ³

Energioiden kokonaishintojen oletetaan nousevan vuosittain 2 %. Investoinneille vaihtoehtoisia rahan sijoituskohteita ei oteta huomioon, eli laskentakorkokantaa ei huomioida laskennassa.

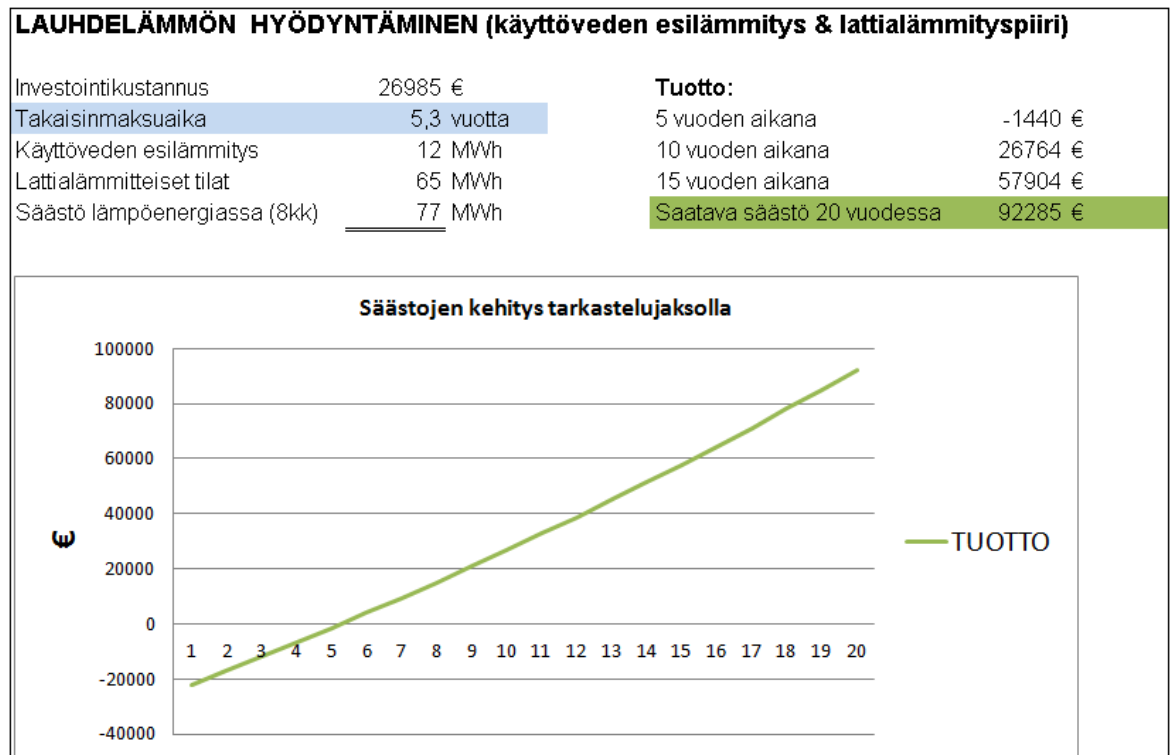
5.2 Investointien kannattavuuslaskelmat

Investointien kannattavuutta on arvioitu laskennallisesti seuraaville toimenpide-ehdotuksille:

- lauhdelämmön tehostamisen esimerkkiratkaisu
- hallitilan valaistuksen esitetty uusimiskorjaus
- tarpeenmukainen hallitilan ilmanvaihtoratkaisu
- kylmäkoneen uusimisen tuoma energiansäästö vanhaan verrattuna.

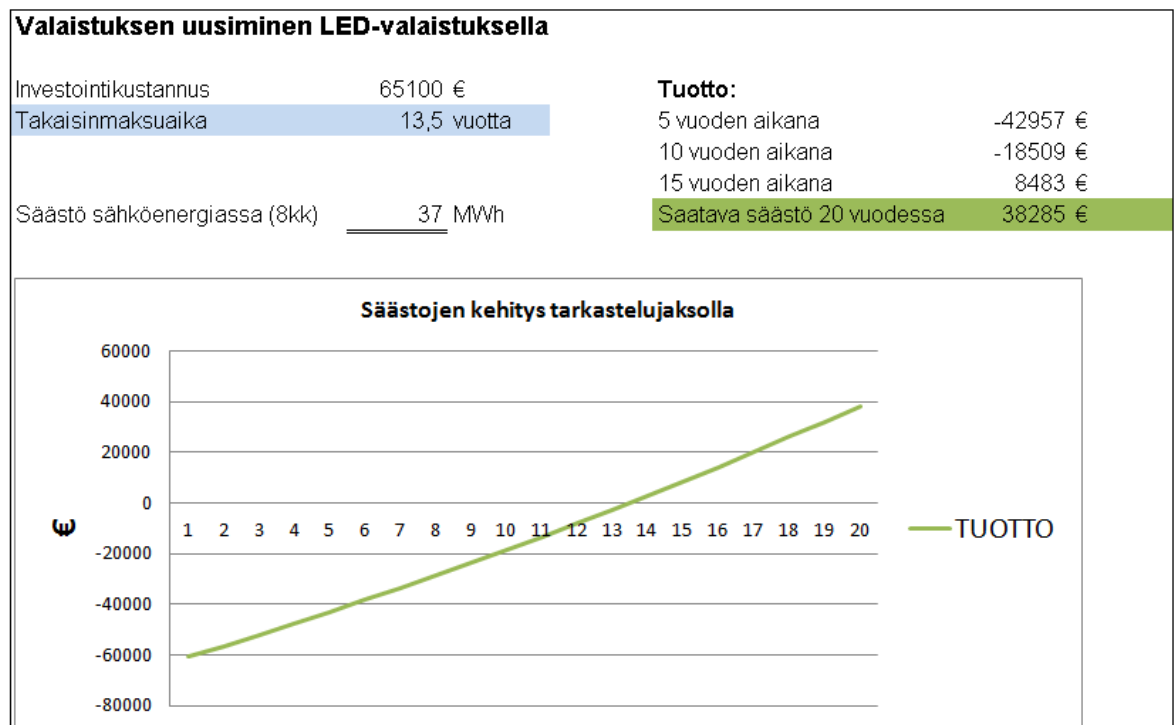
Valitulle lauhdelämmön hyödyntämiskorjaukselle on arvioitu investointikustannukseksi noin 27000 €. Ostettavaa lämpöenergiaa säästyisi vuosittain 77 MWh. Tällä investointikustannuksella, energiahinnoilla ja lasketuilla lämpöenergian kulutusmäärillä investoinnin takaisinmaksuaika olisi noin 5,3 vuotta. Investointi tuottaisi säästöjä lämpöenergian kustannuksissa 20 vuoden aikana noin 92000 €. Näillä lähtötiedoilla lauhdelämmön hyödyntämisen tehostaminen olisi kannattava investointi. Taulukossa 35 havainnollistetaan kannattavuuslaskelmaa paremmin.

Taulukko 35. Lauhdelämmön hyödyntämiskorjauksen kannattavuuslaskelma.



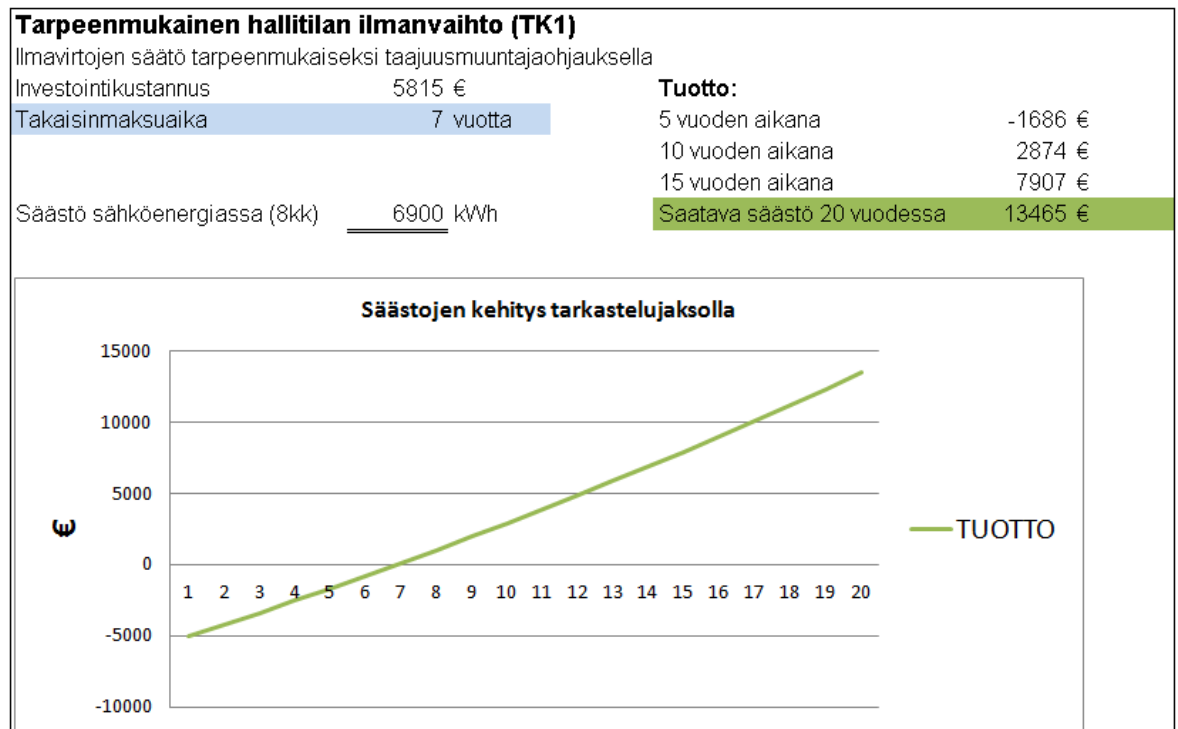
Hallitilan valaistuksen uusiminen led-valaistuksella arvioidaan kustantavan investointina yhteensä noin 65000 €. Vuotuisen 37 MWh sähköenergiankulutuksen vähenemisellä investointi maksaisi itsensä takaisin noin 14 vuoden kuluttua. Laskennassa ei ole kuitenkaan huomioitu jäähän kohdistuvan lämpökuorman vähenemistä, lämmitystarpeen lisääntymistä, himmennysominaisuuksia eikä kustannuksia valaisimien käyttöaikaisista huolto- ja vaihtotöistä. Säästöjä kertyisi led-valaistuksella pelkästään sähköenergian kustannuksissa 20 vuoden käyttöjakson aikana noin 38000 €. Taulukossa 36 on havainnollistettu valaistusinvestoinnin kannattavuutta pienentyneen sähköenergiankulutuksen perusteella.

Taulukko 36. Hallitilan valaistuksen uusimisen kannattavuuslaskelma.



Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon investointikustannus hallitilan ilmanvaihtokoneen puhaltimiin kustantaisi noin 6000 €. Laskelmat on suoritettu taulukon 25 mukaisilla ilmapirroilla ja tällöin säästöä sähköenergiankulutuksessa syntyisi vuosittain noin 7000 kWh. Investoinnin takaisinmaksuaika olisi noin 7 vuotta ja kustannussäästöjä kertyisi nykyisellä sähköenergianhinnalla vuodessa noin 800 €. Sähköenergian arvioitu hinnannousu huomioiden säästöjä kertyisi 20 vuoden aikana noin 13000 €. Taulukossa 37 havainnollistetaan taulukon 25 mukaisten ilmamäärien taajuusmuuntajaohjauksella tuomaa säästöä puhaltimien sähköenergiankulutuksessa.

Taulukko 37. Hallitilan tarpeenmukaisen ilmanvaihdon kannattavuuslaskelma.

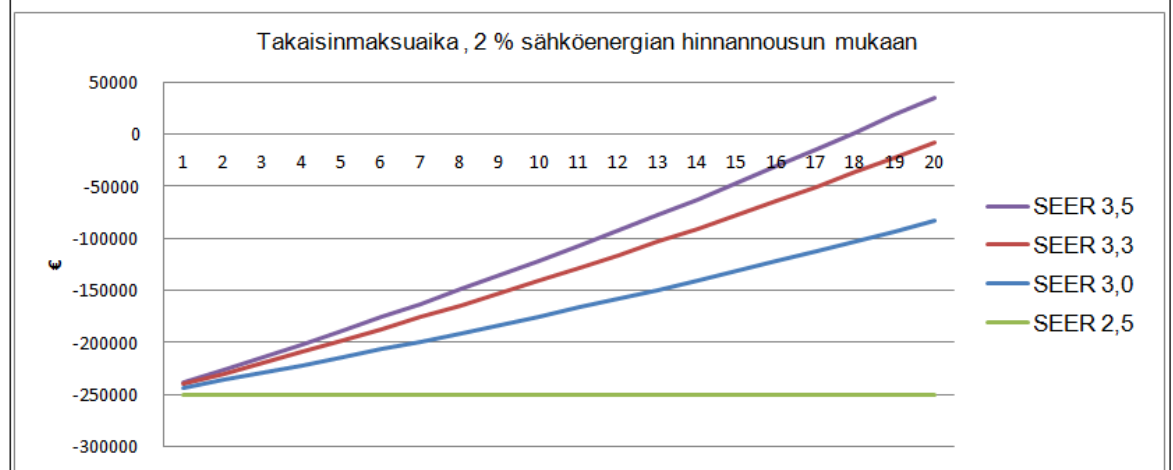


Kylmäkoneen investointikustannus on asennettuna noin 200000–250000 €. Taulukossa 38 on vertailtu kylmäkoneen kylmäkertoimien vaikutuksia sähköenergiakustannuksiin. Vanhaan järjestelmään verrattuna säästöjä saataisiin sähköenergiankulutuksessa jäähdytyskauden kylmäkertoimesta riippuen noin 60–102 MWh eli rahallisesti noin 7000–12000 €. Säästöjen tuoma investoinnin takaisinmaksuaika venyi kaikilla kylmäkertoimilla pitkäksi ja oli 250000 euron investoinneilla 18–28 vuotta.

Kylmäkoneen valinnalla määräytyvät kuitenkin energiakustannukset seuraavalle käyttöjaksolle eli noin 20 vuodelle. Mikäli esimerkiksi järjestelmä uusitaan nykytasoa vastaavalla järjestelmällä, energiakustannukset 20 vuoden aikana olisivat noin 998000 €. Mikäli uuden kylmäkoneen kylmäkerroin olisikin 30 % nykytasoa parempi, eli noin 3,3, saataisiin säästöä sähköenergian kustannuksissa vastaavalla ajanjaksolla noin 242000 €.

Taulukko 38. Kylmäkoneen kylmäkertoimen vaikutus energiakustannuksiin.

KYLÄKONEEN UUSIMINEN		Vertailu vanhaan järjestelmään	
Kylmäkertoimien mukainen vertailu 20 vuoden ajanjaksolla		Investointikustannus	250000 €
Kylmäkoneen kylmäkerroin	Energiakustannukset (20 v.)	Energiansäästö vuosittain	Takaisinmaksuaika
SEER 2,5 (nykyistä vastaava)	998000 €	0 kWh	-
SEER 3,0	832000 €	59520 kWh	28 vuotta
SEER 3,3	756000 €	86575 kWh	21 vuotta
SEER 3,5	713000 €	102034 kWh	18 vuotta



6 TULOSTEN YHTEENVETO

Toimenpide-ehdotusten pohjalta voitaisiin pohtia jatkotoimenpiteitä. Energiakatselmustoimintaa tulisi jatkaa ja LVISA-suunnittelulla voitaisiin kartoittaa ja valita kohteeseen parhaiten soveltuvia kokonaisratkaisuja.

Lämmitysjärjestelmässä suurin energiatehokkuutta yksittäin parantava toimenpide on todennäköisesti lauhdelämmön tehokkaampi hyötykäyttö. Lauhdelämpöä tulisi hyödyntää tehokkaammin kohteen eri lämmitysjärjestelmissä. Mahdollisimman suurta lauhdelämmön hyödyntämisastetta suositellaan. Valitusta järjestelmästä riippuen kaukolämmön kulutus vähenisi 0...235 MWh. Kaukolämmön korvaaminen kokonaan lauhdelämmöllä vaatisi esimerkiksi lämpöpumppujen käyttöä tai muutoksia tilojen lämmönjakotapoihin.

Pumppujen ja lämmönsiirtimien ikäännyttyä tulee harkita taajuusmuuttajaohjattuja pumppuja ja tehokkaasti lämpöä siirtäviä lämmönsiirtimiä. Lämpötilojen tulisi myös aina pysyä tavoitearvoissaan. Koko lämmitysjärjestelmän säädön toimivuutta tulisi jatkuvasti seurata ja tarvittaessa puuttua tilojen tai käyttöveden tavoitelämpötiloista poikkeaviin lämpötiloihin.

Kylmäkoneen uusiminen on Tikkakosken jäähallissa ajankohtainen aihe ikääntyneen kylmäkoneiston takia. Laitetoimittajan hinta-arvio lämpöpumpulliselle ammoniakki-käyttöiselle kylmäkonekontille olisi asennettuna noin 250000 €. Uuden kylmäkoneen valinnalla vaikutetaan kuitenkin energiakustannuksiin seuraavan käyttöajan ajalle. Mikäli jäähdytyskauden kylmäkerroin paranisi nykyisestä esimerkiksi 30 %, energiakustannukset 20 vuoden käyttöjaksolla olisivat 242000 € vähemmän. Kylmäkoneen uusimisen yhteydessä suositellaan myös paremman lauhdelämmön hyödyntämisratkaisun toteuttamista.

Uudessa kylmäkoneessa energiatehokkuutta parantaisivat

- energiatehokkaampi kylmäaine
- säätö- ja ohjaustavan muutos paremmin tarvetta vastaavaksi
- moottoreiden pyörimisnopeuden säätö taajuusmuuntajakäytöllä
- lauhtumislämpötilan alentaminen
- korkean hyötysuhteen omaavat sähkömoottorit.

Valaistuksen uusimisella olisi mahdollista myös aikaansaada parempi energiatehokkuus. Esimerkkiratkaisussa olleen rata-alueen uuden led-valaistuksen tuoma säästö sähköenergiankulutuksessa olisi vuodessa noin 37 MWh. Valaistussuunnitelmien pohjalta voitaisiin arvioida paremmin myös valaistuksen uusimisen kokonaisvaikutus energiatehokkuudelle. Uuteen valaistukseen tulisi myös asentaa nykyistä paremmat himmennuksen säätö- ja ohjauslaitteet, jotta valaistustehoa voitaisiin säätää vastaamaan nykyistä paremmin jäähallin käyttöä.

Etenkin hallitilan ilmanvaihto tulisi muuttaa tarpeenmukaiseksi. Tarpeenmukainen ilmavirtaus voitaisiin varmentaa esimerkiksi hiilidioksidi, kosteus- ja lämpötilantureilla. Esimerkin mukaisessa taajuusmuuttajaohjatussa ratkaisussa saatiin tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla säästöä 6900 kWh vuodessa. Ilmanvaihtokoneeseen voitaisiin harkita myös energiatehokkaampaa puhallinkäyttöä. Esimerkiksi TK2-tuloilmapuhallinta pyöritetään jopa neljällä kiilahihnalla, jolloin voimansiirron hyötysuhde on heikko.

Taulukkoon 39 on koottu yhteenveto suoritettujen energiakatselmuksen toimenpideehdotuksista. Toimenpiteiden tuomat säästöt on laskettu esimerkeissä olleista ratkaisuvaihtoehtoista. Hyvillä suunnitteluratkaisuilla voitaisiin todennäköisesti säästää taulukossa esitettyä parempaa energiatehokkuuden parantumista.

Taulukko 39. Suoritettujen energiakatselmuksen esimerkkiratkaisujen yhteenveto

Toimenpiteen kuvaus	Säästöt yhteensä €/ vuosi	TMA a	Energiasäästöt [MWh/a]		Kohta raportissa
			Lämpö	Sähkö	
Lauhdelämmön hyödyntäminen	4900	5,3	77	-	4.1
Rata-alueen valaistuksen uusiminen	4300	14	-	37	4.6
Hallitilan tarpeenmukainen ilmanvaihto	800	7	-	7	4.2
Kylmäkoneen uusiminen	10120	21	-	88	4.3
Jäänhoitoveden optimointi	2500	-	14	12	4.4
Jäänpaksuuden optimointi	600	-	-	5	4.5
YHTEENSÄ	23220		91	149	
MUUT TOIMENPITEET					
Vesikalusteiden virtausmittaukset ja WC-istuimien vaihto					4.7.1
Tiiveyden parantaminen tuulikaapilla					4.7.2
Jäähän kohdistuvien lämpökuormien minimointi					4.7.3
Aurinkosähkön hyötykäytön kartoitus					4.7.4
Energiankulutuksen ja lämpötilatasojen jatkuva seuranta					
Energiakatselmusten suorittaminen noin 5 vuoden välein					

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Jäähallien energiatehokkuudesta

Energiankulutusta tulee jäähalleissa jatkuvasti seurata ja energiakatselmuksia suositellaan teetettäväksi noin 5–10 vuoden välein. Katselmuksissa löydetyt energiatehokkuuden parantamisratkaisut tulisi aina toteuttaa ammattitaitoisella suunnittelijalla.

Kylmäkoneen lauhdelämpö tulisi hyödyntää aina mahdollisimman kattavasti jäähallin lämmitysjärjestelmissä. Tarpeenmukaisuus on tärkeää kaikissa jäähallin järjestelmissä. Esimerkiksi kylmäkoneen, ilmanvaihdon, jään lämpötilan ja rata-alueen valaistuksen tarpeenmukaisella ohjauksella ja säädöllä voidaan vaikuttaa merkittävästi järjestelmien energiankulutukseen. Jäähallin käytöllä ja etenkin sen jäähoidon tasolla on myös suuri merkitys energiatehokkuuteen. Eristävyydestä ja tiiveydestä on myös huolehdittava ja laitteiden hyötysuhteiden tulee olla mahdollisimman korkeita.

Investointikustannuksiltaan mahdollisimman alhainen järjestelmä ei useinkaan ole kokonaisenergiatehokkuuden eikä elinkaaritalouden kannalta välttämättä paras vaihtoehto. Investoinneissa tulisi tarkastella aina siis kustannuksia järjestelmän koko elinkaaren ajalta. Kannattavuusarviointi investoinneissa tulisi suorittaa tarpeen mukaan LCC-menetelmällä (life cycle costs), jossa koko elinkaaren aikaiset kustannukset arvioidaan. Suurin osa järjestelmän kustannuksista muodostuukin yleensä käytönaikaisesta ajanjaksosta energiakustannuksina. Energian hinnan voidaan arvioida myös kokoajan nousevan, jolloin järjestelmän energiatehokkuudelle ja hyötysuhteelle olisi syytä antaa painoarvoa investointia tehtäessä.

Suomen lainsäädännössä voitaisiin miettiä jäähallien liittämistä paremmin osaksi rakentamismääräyksiä. Esimerkiksi lauhdelämmön hyödyntämiselle voitaisiin pohdita vähimmäisvaatimuksia. Myös korjausrakentamiseen ja E-luvun laskentaan voitaisiin tarkemmin puuttua. Lainsäädännöllä olisi siis mahdollista ohjata paremmin jäähallien suunnittelua ja rakentamista energiatehokkaampaan suuntaan.

7.2 Opinnäytetyö prosessina

Jäähallin energiakatselmus oli opinnäytetyön aiheena varsin mielenkiintoinen ja työn tekeminen tekijälleen opettavaista. Haasteitakin työssä esiintyi muun muassa jäähallien erityispiirteiden vuoksi. Esimerkiksi jäähallin kokonaislämpöenergian tarpeen arvioiminen laskennallisesti lähtötietojen pohjalta osoittautui haastavaksi.

Tulokset pohjautuvatkin työssäni osiltaan laskelmista tehtyihin johtopäätöksiin, jolloin tulosten luotettavuus ei ole yhtä hyvää kuin esimerkiksi kohteesta täysin mitattujen tietojen pohjalta suoritettussa katselmuksessa. Paremman luotettavuuden varmistamiseksi johtopäätökset tulisi voida suorittaa mittausten pohjalta. Esimerkiksi kylmäkerroin ja lämpöenergian tarve tulisi varmentaa mittauksin.

Opinnäytetyön rajaaminen pienempään aihekokonaisuuteen, esimerkiksi vain kylmäkoneen energiatehokkuuden tehostamiseen, olisi mahdollistanut paremman syventymisen rajattuun aihealueeseen. Pienempi aihealue olisi saatu optimoitua todennäköisesti paremmin energiatehokkuuden suhteen ja toimenpide-ehdotuksia löydetty ehkä enemmänkin. Tavoitteena oli kuitenkin suorittaa energiakatselmus ja kartoittaa energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä kokonaisuudessaan.

Työssä hahmottuu suuntaa-antavasti kokonaiskuva Tikkakosken jäähallin energiatehokkuuden nykytilasta ja sen todennäköisesti keskeisimmistä parantamismahdollisuuksista. Toimenpide-ehdotusten pohjalta voidaan kohdistaa tarvittavia toimenpiteitä ja LVISA-suunnittelulla toteuttaa kohteeseen parhaiten soveltuvia energiatehokkuutta parantavia ratkaisuja.

Kokonaisuuden hahmottaminen energiatehokkuuden parantamishankkeessa onkin aina tärkeää. Parhaaseen energiatehokkuuteen pyrkiessä on muistettava energiatehokkuutta parantavien ratkaisujen vaikutukset jäähalliin aina kokonaisuutena. Energiatehokkailla ratkaisuilla ei voida vaarantaa esimerkiksi jäähallin kosteusolosuhteita ja jäähallin tulee voida palvella jääurheilua aina mahdollisimman hyvin.

Kiitokseni vielä tähän loppuun asiantuntijoille lausunnoista, Tikkakosken jäähallin henkilökunnalle ja Jyväskylän tilapalvelulle yhteistyöstä sekä Jääkiekkoliiton keskimään olosuhdevaliokunnalle opinnäytetyön aiheesta.

LÄHTEET

- ASHRAE Handbook –Refrigeration 2010. 2010 ASHRAE Handbook - Refrigeration (SI Edition). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpASHRAE82/ashrae-handbook-refrigeration-3/ashrae-handbook-refrigeration-3>
- Bock. Ei päiväystä. Kompressorin Bock FX16/2051 tiedot. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: http://www.bock.de/en/Product_overview.html?ArticleID=1136
- D1 2007. 2007. Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot, määräykset ja ohjeet. 2007. Suomen rakennusmääräyskokoelma osa: D1. Helsinki: Ympäristöministeriö
- D2 2012. 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa: D2. Helsinki: Ympäristöministeriö
- D3 2012. 2012. Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma: osa D3. Helsinki: Ympäristöministeriö
- D5 2012. 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystarpeen laskenta, ohjeet. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma: osa D5. Helsinki: Ympäristöministeriö
- Energie innovation. Ei päiväystä. Ice Arenas [Verkkosivu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavana: http://www.energie-innovation.com/ice_arenas.html
- Engineer student. 2012. Compressor Types [Verkkosivu]. [Viitattu 1.3.2015]. Saatavana: http://www.engineerstudent.co.uk/screw_air_compressors.shtm
- Hakala, P. & Kaappola, E. 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.
- ICEguard. Ei päiväystä. Kaspek Oy Ltd. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 28.3.2015]. Saatavilla: http://www.iceguard.fi/pdfs/ICEGUARD_FI_small2011.pdf
- IIHF Technical guidelines. 2011. Kansainvälinen jääkiekkoliitto. IIHF Arena Manual. Chapter 3: Technical guidelines of an ice rink. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: http://www.iihf.com/fileadmin/user_upload/PDF/Sport/Chapter3.pdf

- Jyväskylän energian hinnasto. 2015. Jyväskylän energia Oy. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: <http://www.jyvaskylanenergia.fi/hinnastot-ja-sopimusehdot>
- Jäähallien energiankulutus mahdollista puolittaa. 2015. Mynewsdesk. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 28.3.2015]. Saatavilla: <http://www.mynewsdesk.com/fi/energiakolmio/pressreleases/jaeaehallien-energiankulutus-mahdollista-puolittaa-1119658>
- Jäähallien energiatehokkuuden nykytilatutkimusraportti. Ei päiväystä. Suomen Jääkiekkoliitto. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: <http://finhockey-fi-bin.directo.fi/@Bin/6289043a2d211847b7533ad90b450774/1425846681/application/pdf/760453/Jaahallienenergiatehokkuudennykytilatutkimusraportti.pdf>
- Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka. 2007. Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka: suunnittelu- ja rakennuttamisopas. Helsinki: Rakennustieto Oy
- Jäähallien valaistusohje. 2014. Suomen Jääkiekkoliitto Ry, Jääkiekon SM-liiga Oy, Opetus - ja kulttuuriministeriö. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: <http://www.finhockey.fi/info/jaahallit/>
- Jäähalliportaali. 2015. Jäähallien energia- ja ympäristöportaali. VTT. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: <http://jaahallit.vtt.fi/>
- Jäähallit ja tekojääkentät. 1999. Liikuntapaikkajulkaisu osa 71. Helsinki: Rakennustieto Oy
- Kaappola, E., Hirvelä A., Jokela M. & Kianta J. 2011. Kylmätekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus
- Kylmäläinen, M. 2014. Aurinkosähkön kannattavuustarkastelu jäähallilla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikka. Kandidaatintyö. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/99396/Kandidaatinty%C3%B6.pdf?sequence=2>
- L 30.12.2014/1429. Energiatehokkuuslaki.
- Laitinen, A. 2015. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Puhelinkeskustelu 2.3.2015
- Laitinen, A., Nykänen V. & Paiho, S. 2010. Jäähallin kylmäkoneistojen hankintaopas: VTT tiedote 2548. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2548.pdf>
- LVI 13-10261/1996. Vesikiertoinen lattialämmitys. Helsinki: Rakennustieto Oy

LVI 61-10124/1989. Jäähallin lauhde-energia. Helsinki: Rakennustieto Oy

LVI-piirustukset. 1996. Tikkakosken jäähallin LVI- piirustukset/suunnitelmat. Insinööritoimisto AX-LVI Oy. Tampere.

Motiva lauhdelämmön talteenotto. 2012. Kaupan kylmälaitteiden ja –järjestelmien lauhdelämmön talteenotto: laskentaohje. Motiva Oy. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 15.11.2014]. Saatavilla:
http://www.motiva.fi/files/7973/Kaupan_kylmalaitteiden_ja_jarjestelmien_lauhdelaammon_talteenotto_Laskentaohje.pdf

Motivan energiakatselmusesimerkki. 2004. Energiakatselmusten esimerkki 1-04 – Pyhäjärvenseudun Jäähalli Oy: ESCO-konsepti sopii meille. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla:
http://www.motiva.fi/files/8020/Energiakatselmusten_esimerkki_1-04_Pyhajarvenseudun_Jaahalli_Oy_ESCO-konsepti_sopii_meille.pdf

Nydal, R. 2005. Käytännön kylmätekniikkaa. Suomentaja Muuronen, M. 3. painos. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys ry

Paavola, P. 2015. Jäähalliasiamies. Suomen Jääkiekkoliitto. Puhelinkeskustelu 2.3.2015

Pohjapiirustus. 1996. Pääpiirustukset. Arkkitehtuuritoimisto Jorma O Kaasinen. Vaajakoski

Rakennuslehti. 2014. Rakennuslehti: rakentaminen, kiinteistöt, talotekniikka, infra. [Verkkolehti]. [Viitattu 9.3.2015]. Saatavilla:
<http://www.digipaper.fi/rakennuslehti/119839/index.php?pgnumb=10>

Rakentamismääräykset. Suomen rakentamismääräyskokoelman määräykset vuosilta 1978 – 2012. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla:
http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

SFP-opas. 2004. SFP-opas: Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: <http://www.flaktwoods.fi/476d6be3-be6e-42e9-bd82-6152ff71a7aa>

SFS-EN 15193:2007. Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SP elementit. Ei päiväystä. Jäähallin rakentaminen. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: <http://www.spe.fi/urheilurakentaminen>

Takala, A. 2014. Uusiutuvan energian käyttömahdollisuudet Liikuntakeskus Pajulahdessa. [Verkkojulkaisu].Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. [Viitattu 1.3.2014]. Saatavilla: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/98408/Diplomity%C3%B6%20Antti%20Takala.pdf?sequence=2>

Technical Training Associates. 2008. Jim Johnson. Refrigeration Fundamentals For HVACR Technicians. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: http://www.technicaltrainingassoc.com/e_refrig_fund_hvacr_excerpt.htm

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2015. EU:n energiayhteistyö. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: https://www.tem.fi/energia/eu_n_energiayhteistyö

Vattenfall. Ei päiväystä. Sähkönkulutus omakotitalossa. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.11.2014]. Saatavilla: <http://www.vattenfall.fi/fi/omakotitalo.htm>

Vuosiraportti. 2012. Jyväskylän Tilapalvelun luovuttama vuosiraportti Tikkakosken jäähallin sähkön-, lämmön- ja vedenkulutuksesta

Wikipedia. 2015. Kuvio: Conceptual diagram of a plate and frame heat exchanger. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Plate_heat_exchanger#mediaviewer/File:Plate_frame_1.svg

LIITTEET

LIITE 1 Hallitilan lämmitysenergiantarpeen laskenta

Hallitilan lämmitysenergiantarve muodostuu, konvektiolämmönsiirrosta hallin ilmasta jähän ja vaippaan, johtumislämpöhäviöistä sekä vuoto- ja raitisilman lämmityksestä. Energiatarpeen laskenta suoritetaan hallitilan osalta hyödyntäen VTT:n kylmäkoneen hankintaoppaan sekä ASHERA refrigeration 2010 -käsikirjan laskentakaavoja, sillä jään jäähdyttävä vaikutus on otettava laskelmissa erityisesti huomioon. Rakennusmääräysten osan D5 energialaskentakaavoja sovelletaan alapohjan johtumislämpöhäviöiden ja hallitilan vuoto- ja raitisilman lämmitysenergiantarpeen laskennassa. Laskenta suoritetaan kuukausitasolla ja Jyväskylän kuukausittaiset ulkoilman keskilämpötilat on luettu Suomen rakennusmääräyskoelman osasta D3. Ilmalämmityksen vuosihyötysuhteena käytetään laskelmissa arvoa 0,9.

Konvektiolämmönsiirron lämpöteho hallin ilman ja jään pinnan välillä voidaan laskea kaavalla A1 (VTT tiedote 2548).

$$\phi_{\text{kon}} = \alpha_{\text{kj}} A_{\text{jää}} (T_s - T_{\text{jää}})/1000 \quad (\text{A1})$$

jossa ϕ_{kon} on konvektion keskimääräinen lämpöteho, kW

α_{kj} on konvektion lämmönsiirtokerroin, W/(m²K)

$A_{\text{jää}}$ on jään pinta-ala, m²

T_s on sisälämpötila keskellä hallia, °C

$T_{\text{jää}}$ on jään pintalämpötila, °C

1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowateiksi

Laskelmissa konvektion lämmönsiirtokertoimenä käytetään käyttöjakson aikana lukuarvoa 1 W/(m²K) ja käyttöjakson ulkopuolisena ajanjaksona lukuarvoa 0,5 W/(m²K) (VTT tiedote 2548 taulukko 10). Hallitilan käyttöaikaisena sisälämpötilana keskellä hallia käytetään arvioitua arvoa 11 °C ja käyttöjakson ulkopuolisena aikana arvoa 6 °C. Jään käyttöaikaisena pintalämpötilana käytetään arvoa -5 °C ja käyttöjakson ulkopuolisena aikana arvoa -4 °C. Kaavan A1 avulla saadaan käyttöjakson aikaiseksi keskimääräiseksi konvektiolämmönsiirron lämpötehoksi:

$$\phi_{\text{kon,k}} = 1 \text{ W/(m}^2\text{K)} * 1624 \text{ m}^2 * (11 \text{ °C} - (-5 \text{ °C}))/1000 = 26,0 \text{ kW}$$

ja käyttöjakson ulkopuoliselle ajalle:

$$\phi_{kon,u} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) * 1624 \text{ m}^2 * (6 \text{ }^\circ\text{C} - (-4 \text{ }^\circ\text{C}))/1000 = 8,1 \text{ kW}$$

Lämmitysenergian tarve vuotuisen käyttöajan (8kk) ajanjaksolla konvektiolämmönsiirtoon lasketaan kaavalla A2.

$$Q_{kon} = [t_k \phi_{kon,k} + (24h - t_k) \phi_{kon,u}] \Delta t_{kon} \quad (\text{A2})$$

jossa Q_{kon} on hallin lämmitysenergian tarve konvektionsiirtoon, kWh

t_k on vuorokautinen käyttöjakson pituus, h

Δt_{kon} on tarkasteluajanjakson (kuukausi) pituus, vrk

Tällöin lämmitysenergian tarpeeksi kuukauden ajalle konvektionsiirtoon saadaan

$$Q_{kon} = [16h * 26,0 \text{ kW} + (24h - 16h) * 8,1 \text{ kW}] * 30 \text{ vrk} = 14424 \text{ kWh}$$

Konevektiolämmönsiirron lämpöteho vaippaan voidaan laskea alla olevalla kaavalla:

$$\phi_{vaippa} = \alpha_{konv, vaippa} A_{vaippa} (T_s - T_{vaippa})/1000 \quad (\text{A3})$$

jossa ϕ_{vaippa} on konevektiolämmönsiirron teho vaippaan, kW

$\alpha_{konv, vaippa}$ on konvektion lämmönsiirtokerroin vaipan pinnalla, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

A_{vaippa} on ulkoilmaan rajoittuvan vaipan pinta-ala, m^2

T_s on hallin ilman lämpötila keskellä hallia, $^\circ\text{C}$

T_{vaippa} on vaipan sisäpinnan pintalämpötila, $^\circ\text{C}$

1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Vaipan ulkoilmaan rajoittuvana pinta-alana käytetään piirustuksista laskettua arvoa 3749 m^2 ja vaipan konvektion lämmönsiirron kertoimena käytetään arvoa $3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Vaipan pintalämpötilaan (T_{vaippa}) vaikuttavat kuitenkin johtumislämpö vaipan läpi ulkoilmaan, säteilylämmönsiirto pintojen välillä, sekä lämpökuormien säteilyteho vaippaan.

Vaipan sisäpuolinen pintalämpötila (T_{vaippa}) voidaan ratkaista vaipan lämpötaseesta

$$q_{\text{konv.}} + q_{\text{sät, katsomo-vaippa}} + q_{\text{kuorma}} = q_{\text{sät, vaippa-jää}} + q_{\text{joht}} \quad (\text{A4})$$

jossa $q_{\text{konv.}}$ on konvektion lämpövirta hallin ilmasta vaippaan, W/m^2
 $q_{\text{sät, katsomo-vaippa}}$ on säteilylämpövirta katsomosta vaippaan, W/m^2
 q_{kuorma} on lämpökuormien lämpösäteily vaippaan, W/m^2
 $q_{\text{sät, jää-vaippa}}$ on säteilylämpövirta vaipasta jäähän, W/m^2
 q_{joht} on vaipan johtumislämpövirta ulkoilmaan, W/m^2

Konvektion lämpövirta vaipan ja hallin ilman välillä voidaan laskea kaavalla

$$q_{\text{konv.}} = \alpha_{\text{konv, vaippa}} (T_s - T_{\text{vaippa}}) \quad (\text{A5})$$

jossa $\alpha_{\text{konv, vaippa}}$ on konvektion lämmönsiirtokerroin, $3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 T_s on hallin ilman lämpötila keskellä hallia, $^{\circ}\text{C}$
 T_{vaippa} on vaipan sisäpinnan pintalämpötila, $^{\circ}\text{C}$

Katsomosta vaippaan siirtyvä säteilylämmönsiirronteho lasketaan kaavalla A6

$$q_{\text{sät, katsomo-vaippa}} = G_{\text{sät, katsomo-vaippa}} \delta ((T_{\text{katsomo}} + 273,15)^4 - (T_{\text{vaippa}} + 273,15)^4) \quad (\text{A6})$$

jossa δ on Stefan-Boltzmannin säteilyvakio, $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$
 T_{katsomo} on katsomon lämpötila, $^{\circ}\text{C}$
 T_{vaippa} on vaipan sisäpinnan pintalämpötila, $^{\circ}\text{C}$
273,15 on lukuarvo, jolla muutetaan celsiusasteet kelvinasteiksi
 $G_{\text{sät, katsomo-vaippa}}$ on säteilykerroin katsomon ja vaipan välillä

Säteilykerroin katsomon ja vaipan välille voidaan laskea kaavalla

$$G_{\text{sät, katsomo-vaippa}} = \left[\frac{1}{F_{ci}} + \left(\frac{1}{\epsilon_{\text{katsomo}}} - 1 \right) + \frac{A_{\text{katsomo}}}{A_{\text{vaippa}}} \left(\frac{1}{\epsilon_{\text{vaippa}}} - 1 \right) \right]^{-1}$$

jossa $\epsilon_{\text{katsomo}}$ on katsomon emissiviteetti
 A_{katsomo} on katsomon pinta-ala, m^2
 A_{vaippa} on vaipan pinta-ala, m^2
 ϵ_{vaippa} on vaipan emissiviteetti

Säteilykulman kertoimena käytetään arvoa 0,7. Yläpohjan sisäpuolella on käytössä matalaemissiivipinnat, joiden emissiviteettinä käytetään arvioitua arvoa 0,2. Yläpohjan puinen ristikkorakenne kasvattaa kuitenkin yläpohjan emissiviteettiä, sillä puun emissiviteetti on noin 0,9. Seinärakenteen emissiviteettinä käytetään myös arvoa 0,9. Laskelmissa koko vaipparakenteen emissiviteettinä käytetään arvoa 0,6. Katsomon emissiviteettinä käytetään lukuarvoa 0,9 ja pinta-alana arvoa 183 m^2 . Säteilykertoimeksi katsomon ja vaipan välille saadaan:

$$G_{\text{sät, katsomo-vaippa}} = \left[\frac{1}{0,7} + \left(\frac{1}{0,9} - 1 \right) + \frac{183 \text{ m}^2}{3749 \text{ m}^2} \left(\frac{1}{0,6} - 1 \right) \right]^{-1} = 0,636 \quad (\text{A7})$$

Lämpökuormien vaippaan siirtämänä lämpösäteilyn arvona (q_{kuorma}) käytetään laskelmissa arvioitua arvoa $0,34 \text{ W/m}^2$.

Lämpösäteilyteho vaipasta jäähän välillä voidaan laskea kaavalla

$$q_{\text{sät, vaippa-jää}} = G_{\text{sät, vaippa-jää}} \delta \left((T_{\text{vaippa}} + 273,15)^4 - (T_{\text{jää}} + 273,15)^4 \right) \quad (\text{A8})$$

jossa δ on Stefan-Boltzmannin säteilyvakio, $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$
 $T_{\text{jää}}$ on jään pintalämpötila, $^{\circ}\text{C}$
 T_{vaippa} on vaipan sisäpinnan pintalämpötila, $^{\circ}\text{C}$
 273,15 on lukuarvo, jolla muutetaan celsiusasteet kelvinasteiksi

Säteilykerroin vaipan ja välillä saadaan kaavasta:

$$G_{\text{sät, vaippa-jää}} = \left[\frac{1}{F_{ci}} + \left(\frac{1}{\epsilon_{\text{vaippa}}} - 1 \right) + \frac{A_{\text{vaippa}}}{A_{\text{jää}}} \left(\frac{1}{\epsilon_{\text{jää}}} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (\text{A9})$$

jossa F_{ci} on säteilykulman kerroin
 $\epsilon_{\text{jää}}$ on jään emissiviteetti, 0,95

$A_{\text{jää}}$ on jään pinta-ala, m^2

ϵ_{vaippa} on vaipan pinnan emissiviteetti

A_{vaippa} on vaipan pinta-ala, m^2

Jään pinta-ala on 1624 m^2 ja emissiviteettinä käytetään lukuarvoa 0,95. Säteilyker-toimeksi jään ja vaipan välille saadaan

$$G_{\text{sät, vaippa-jää}} = \left[\frac{1}{0,7} + \left(\frac{1}{0,6} - 1 \right) + \frac{3749 \text{ m}^2}{1624 \text{ m}^2} \left(\frac{1}{0,95} - 1 \right) \right]^{-1} = 0,451$$

Johtumislämpövirta ulkoilmaan voidaan laskea kaavalla

$$Q_{\text{joht}} = \frac{\alpha_{\text{konv,vaippa}} \cdot U}{\alpha_{\text{konv,vaippa}} - U} \cdot (T_{\text{vaippa}} - T_{\text{u}}) \quad (\text{A10})$$

jossa $\alpha_{\text{konv,vaippa}}$ on vaipan pinnan konvektion lämmönsiirtokerroin, $\text{W/m}^2\text{K}$

U on vaipan lämmönläpäisykerroin, $\text{W/m}^2\text{K}$

T_{vaippa} on vaipan sisäpinnan lämpötila, $^{\circ}\text{C}$

T_{u} on ulkolämpötila, $^{\circ}\text{C}$

Koko vaipparakenteen U -arvona käytetään arvoa $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vaipan konvektion lämmönsiirron kertoimena käytetään laskelmissa arvoa $3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Johtumislämpövirraksi ulkoilmaan saadaan muodostettua yhtälö

$$Q_{\text{joht}} = \frac{3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} - 0,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}}{3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} - 0,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} \cdot (T_{\text{vaippa}} - T_{\text{u}})$$

Vaipan lämpötaseen yhtälöstä A4 ratkaistaan seuraavaksi vaipan pintalämpötila kuukausittain kuukauden keskilämpötilan mukaan. Alla olevasta taulukosta voi- daan lukea saadut tulokset vaipan sisäpinnan lämpötilalle kuukausittain.

Vaipan sisälämpötila (T_{vaippa}) ulkoilman lämpötilan mukaan (Jyväskylä, RakMK D3)		
Kuukausi	Ulkolämpötila [$^{\circ}\text{C}$]	T_{vaippa} [$^{\circ}\text{C}$]
Tammikuu	-8	4,53
Helmikuu	-7,1	4,56
Maaliskuu	-3,53	4,68
Huhtikuu	2,42	4,88
Toukokuu	8,84	5,09
Kesäkuu	13,39	5,24
Heinäkuu	15,76	5,32
Elokuu	13,76	5,25
Syyskuu	9,18	5,10
Lokakuu	4,07	4,93
Marraskuu	-1,76	4,74
Joulukuu	-5,92	4,6

Konvektiolämmönsiirron lämpövirta hallin ilmasta vaippaan (ϕ_{vaippa}) lasketaan kuukausittain vaipan sisäpinnan lämpötilan mukaan kaavan A3 avulla. Tulokset lämpöenergiantarpeesta konvektiolämmönsiirtoon hallin ilman ja vaipan välille on esitetty kuukausittain alla olevassa taulukossa

Konvektion lämmönsiirron teho hallin ilmasta vaippaan		
Kuukausi	ϕ_{vaippa} [kW]	Q_{vaippa} [kWh]
Tammikuu	42,4	30528,9
Helmikuu	42,1	30285,9
Maaliskuu	40,7	29314,2
Huhtikuu	38,5	27694,6
Toukokuu	36,1	25994,1
Kesäkuu	34,4	24779,4
Heinäkuu	33,5	24131,6
Elokuu	34,3	24698,4
Syyskuu	36,0	25913,1
Lokakuu	37,9	27289,7
Marraskuu	40,0	28828,3
Joulukuu	41,6	29962,0

Vuotoilman lämmitysenergian tarve lasketaan kuukausittain kaavan A11 avulla (Rakmk D5):

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \rho_v c_v q_{\text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t_{\text{kk}} / 1000 \quad (\text{A11})$$

jossa $Q_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilman lämpöenergiantarve, kWh
 ρ_v on ilman tiheys, 1,2 kg/m³
 c_v on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 kJ/kgK
 $q_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilmavirran suuruus, m³/s
 T_s on hallin sisälämpötila, °C
 T_u on kuukauden keskimääräinen ulkolämpötila, °C
 Δt_{kk} on kuukauden pituus (720h), h
 1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Vuotoilmavirran suuruus arvioidaan kaavan A12 avulla:

$$q_{\text{vuotoilma}} = q_{50} / (3600 * 24) A_{\text{halliosa}} \quad (\text{A12})$$

jossa q_{50} on rakennusvaipan ilmanvuotoluku m³/(h m²)
 3600 on kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksikön muotoon m³/s
 24 on kaksikerroksisen rakennuksen huomioiva kerroin
 A_{halliosa} on hallitilan vaipan pinta-ala m²

Jäähallin tarkka ilmanvuotoluku ei ole tiedossa, joten arvona käytetään rakennusmääräysten mukaista laskennassa käytettävää arvoa 4 m³/(h m²). Hallitilan vuotoilmavirran suuruudeksi saadaan

$$q_{\text{vuotoilma}} = 4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2) / (3600 * 24) * 5916 \text{ m}^2 = 0,27 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hallitilan vuorokautisena keskilämpötilana käytetään arvoa 8,3 °C. Kaavaan 2 sijoitettujen lähtöarvojen avulla lasketaan kuukausittain vuotoilman tarvitsema lämmitysenergian tarve. Lämpöenergiantarpeeksi saadaan 18,5 MWh. Lämpöenergiantarpeen tuloksen ollessa negatiivinen, lasketaan kyseinen energiamäärä läm-

pökuormaksi, jolloin niitä ei lasketa vuotoilman lämmitysenergiantarpeeseen. Saa-
dut tulokset on esitetty kuukausittain alla olevassa taulukossa.

Vuotoilman lämmitys	Lämpöenergiantarve [kWh]
Kuukausi	
Tammikuu	3865
Helmikuu	3652
Maaliskuu	2807
Huhtikuu	1399
(Toukokuu)	-120
(Kesäkuu)	-1197
(Heinäkuu)	-1757
Elokuu	-1284
Syyskuu	-200
Lokakuu	1009
Marraskuu	2388
Joulukuu	3373
Q_{vuotoilma}	18493 kWh

Alapohjan johtumislämpöhäviö lasketaan erikseen kuukausittain kaavalla A13. Alapohjarakennetta ei otettu huomioon konvektiolämmönsiirron laskelmassa hallin ilmasta vaippaan. Laskennan yksinkertaistamiseksi alapohjasta arvioidaan laskennassa ainoastaan johtumislämpöhäviön suuruus maahan.

$$Q_{\text{alapohja}} = U_a A_a (T_s - T_u) \Delta t_{\text{kk}} / 1000 \quad (\text{A13})$$

jossa Q_{alapohja} on johtumislämpöhäviö rakenneosan läpi, kWh

U_a alapohjan lämmönläpäisykerroin W/m²K

A_a on alapohjan pinta-ala, m²

T_s on hallin sisälämpötila, °C

T_u on kuukauden keskimääräinen maan lämpötila, °C

Δt_{kk} on kuukauden pituus (720h), h

1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Alapohjarakenteen U-arvona käytetään arvoa 0,28 W/(m²K) ja pinta-alana arvoa 530 m².

Hallitilan vuorokautisena keskilämpötilana käytetään laskelmissa arvoa 8,3 °C. Sijoittamalla lähtötietojen arvot kaavaan A13, saadaan laskettua kuukausittain alapohjarakenteen johtumislämpöhäviö maahan. Alapohjan johtumislämpöhäviöiksi saadaan yhteensä noin 3 MWh. Laskelman tulokset on esitetty kuukausittain alla olevassa taulukossa.

Alapohjan johtumislämpöhäviöt [kWh]	
Kuukausi	AP 1
Tammikuu	901
Helmikuu	805
Maaliskuu	423
Huhtikuu	-213
(Toukokuu)	-899
(Kesäkuu)	-1385
(Heinäkuu)	-1638
Elokuu	-1424
Syyskuu	-935
Lokakuu	-389
Marraskuu	234
Joulukuu	678
Q_{joht, alapohja}	3041

Kylmäsiltojen aiheuttamat lämpöhäviöt rakennusosien liitoksissa lasketaan kuukausittain kaavalla A14 (Rakmk D5):

$$Q_{\text{kylmäsilta}} = l_k \cdot \lambda_k (T_s - T_u) \Delta t_{\text{kk}} / 1000 \quad (\text{A14})$$

jossa $Q_{\text{kylmäsilta}}$ on johtumislämpöhäviö kylmäsilan läpi, kWh

l_k on kylmäsilan i lämmönläpäisykerroin W/m²K

λ_k on kylmäsilan pituus, m

T_s on hallin sisälämpötila, °C

T_u on kuukauden keskimääräinen ulkolämpötila, °C

Δt_{kk} on kuukauden pituus (720h), h

1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Kylmäsiltojen pituudet on mitattu rakennesuunnitelmista ja saadut metrimäärät on esitetty alla olevassa taulukossa. Kylmäsiltojen lisäkonduktanssien arvot on luettu rakennusmääräyksestä D5.

Hallitilan kylmäsilat		
Kylmäsilta	Lisäkonduktanssi	pituus [m]
AP/US	0,5	194
YP/US	0,3	194
Seinäliitokset	0,06	36
Oviliitokset	0,07	29

Sijoittamalla arvioidut lähtötiedot kaavaan A14, saadaan laskettua kuukausittain kylmäsiltojen aiheuttama johtumislämpöhäviö. Rakennusosien liitoksista aiheutuvan johtumislämpöhäviön suurus on 8,9 MWh.

Kylmäsilat				
Q _{kylmäsilat, yht} 8934 kWh				
Kuukausi	AP/US	YP/US	Seinäliitokset	Oviliitokset
Tammikuu	1138	683	25	20
Helmikuu	1076	645	24	19
Maaliskuu	827	496	18	15
Huhtikuu	412	247	9	7
(Toukokuu)	-35	-21	-1	-1
(Kesäkuu)	-352	-211	-8	-6
(Heinäkuu)	-518	-311	-12	-9
Elokuu	-378	-227	-8	-7
Syyskuu	-59	-35	-1	-1
Lokakuu	297	178	7	5
Marraskuu	703	422	16	13
Joulukuu	993	596	22	18
Q _{kylmäsilat, rakosa}	5447	3268	122	97

Raitisilman lämmittämisen tarvitseva lämpöenergianmäärä arvioidaan kaavalla A15 (Rakmk D5):

$$Q_{iv} = t_d \ t_v \ p_v \ c_v \ q_{raitisilma} (T_s - T_{lto}) \Delta t_{kk} / 1000 \quad (A15)$$

jossa Q_{iv} on raitisilman lämmitysenergiantarve, kWh
 t_d on ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24
 t_v on ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk
 $q_{raitisilma}$ on raitisilmavirta, m³/s
 T_s on hallin sisälämpötila, °C
 T_{lto} lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen ilman lämpötila, °C
 Δt_{kk} on kuukauden pituus (720h), h
 1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Ilmanvaihtokoneen vuorokautisena ja viikoittaisena käyntiaikasuhteena käytetään lukuarvoa 1. Vuorokautisena keskimääräisenä raitisilmavirtana käytetään arvoa 1,65 m³/s. Raitisilma lämmitetään hallin sisälämpötilan suuruiseksi, keskimäärin lämpötilaan 8,3 °C.

Lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila saadaan kaavalla A16:

$$T_{lto} = T_u + \phi_{lto} / (t_d \ t_v \ p_v \ c_v \ q_{raitisilma}) \quad (A16)$$

jossa ϕ_{lto} on lämmöntalteenotolla talteenotettu teho, W

Lämmöntalteenotolla kuukaudessa keskimäärin talteenotettu lämpöteho (ϕ_{lto}) voidaan laskea kaavalla A17.

$$\phi_{lto} = \eta_{lto} \ t_d \ t_v \ p_v \ c_v \ q_{poisto} (T_s - T_u) \quad (A17)$$

jossa η_{lto} on lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde
 q_{poisto} on poistoilmavirta, m³/s

Lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 0,53. Kaavan A17 avulla saadaan LTO-laitteen kuukausittaiseksi tehoksi:

LTO- talteenotettu teho	
Kuukausi	[W]
Tammikuu	17140,2
Helmikuu	16195,74
Maaliskuu	12449,38
Huhtikuu	6205,452
Toukokuu	0
Kesäkuu	0
Heinäkuu	0
Elokuu	0
Syyskuu	0
Lokakuu	4473,942
Marraskuu	10591,94
Joulukuu	14957,45

Kaavalla A16 saadaan lämmöntalteenottolaitteen ilman jälkeiseksi lämpötilaksi kuukausittain:

LTO-laitteen jälkeinen lämpötila	
Kuukausi	°C
Tammikuu	0,7
Helmikuu	1,1
Maaliskuu	2,8
Huhtikuu	5,6
Toukokuu	8,8
Kesäkuu	13,4
Heinäkuu	15,8
Elokuu	13,8
Syyskuu	9,2
Lokakuu	6,3
Marraskuu	3,6
Joulukuu	1,6

Raitisilman lämmitys hallin sisälämpötilaa vastaavaksi lasketaan kuukausittain yllä olevan kaavan A15 avulla. Tulokset raitisilman lämmitystarpeelle on esitetty kuu-

kausittain alla olevassa taulukossa. Raitisilman lämmitysenergian tarve on laskennallisesti 52,4 MWh.

Raitisilman lämmitys	
Kuukausi	kWh
Tammikuu	10944
Helmikuu	10341
Maaliskuu	7949
Huhtikuu	3962
(Toukokuu)	-722
(Kesäkuu)	-7209
(Heinäkuu)	-10587
Elokuu	-7736
Syyskuu	-1207
Lokakuu	2857
Marraskuu	6763
Joulukuu	9550
Q_{raitisilma}	52365

LIITE 2 Hallitilan lämmityksessä hyödynnettävien lämpökuormien laskenta

Hallitilaan lämpökuormaa aiheuttavat ihmisten lämmönluovutus, valaistus, auringon säteily ja muista tiloista hallitilaan johtuva lämpöenergia. Lämpökuormien laskenta suoritetaan VTT:n kylmäkoneen hankintaoppaan ja rakennusmääräysten osan D5 laskentakaavoja soveltaen. Kuukaudessa keskimäärin lämmityksessä hyödynnettäväksi lämpökuormaksi on laskennallisesti saatu yhteensä 19,5 MWh.

Auringonsäteilyn tuottaman lämpökuorman hallitilaan oletetaan olevan hyvin vähäistä, sillä hallitilan ainoat ikkunat ovat hallin pohjoispuolen pääovissa ja niiden pinta-ala on vähäinen. Auringon säteilyenergiaa ei täten huomioida lämmityksessä hyödynnettäväksi lämpökuormaksi.

Henkilöiden luovuttama lämpökuorma lasketaan kaavan B1 avulla:

$$Q_{\text{henk}} = k \cdot n \cdot \phi_{\text{henk}} \cdot \Delta t_{\text{oleskelu}} / 1000 \quad (\text{B1})$$

jossa Q_{henk} on henkilöiden luovuttaman lämpöenergia, kWh

k on rakennuksen käyttöaikainen käyttöaste

n on henkilöiden lukumäärä

ϕ_{henk} on yhden henkilön luovuttama lämpöteho, W

$\Delta t_{\text{oleskelu}}$ oleskeluaika, h

Hallin käyttöaikaisena käyttöasteena käytetään arvoa 0,67 (16h/vrk). Hallitilassa oletetaan oleskelevan vuorokaudessa keskimäärin 60 henkilöä. Keskimääräisenä henkilön luovuttamana lämpötehona käytetään arvoa 162 W/hlö.

Henkilöiden luovuttamaksi lämpökuormaksi kuukauden käyttöjakson ajalle saadaan kaavalla B1

$$Q_{\text{henk}} = 0,67 \cdot 60 \cdot 162 \text{ W} \cdot 720 \text{ h} / 1000 = 4689 \text{ kWh}$$

Valaistuksen tuottama lämpökuorma hallitilaan on yhtä suuri, kuin valaistusjärjestelmän sähköenergian kulutus. Valaistusjärjestelmän lämpökuorma hallitilaan on kuukaudessa keskimäärin 10375 kWh.

Muista tiloista hallitilaan johtuva lämpöenergia saadaan laskettua lattia- ja patterilämmitteisten tilojen väliseinien, -pohjan ja -ovien johtumislämpöhäviöiden summana. Johtumislämpöhäviöiden summa lattialämmitteisten tilojen osalta saadaan liitteestä 3 ja patterilämmitteisten tilojen osalta liitteestä 4. Lattialämmitteisten tilojen rakenteista lämpöenergiaa johtuu hallitilaan kuukaudessa keskimäärin 3847 kWh ja patterilämmitteisten tilojen rakenteista 623 kWh. Yhteensä muista tiloista hallitilaan johtuu lämpöenergiaa kuukaudessa keskimäärin 4470 kWh.

LIITE 3 Lattialämmitteisten tilojen lämmitysenergiantarpeen laskenta

Lattialämmitteisten tilojen tarvitsema lämmitysenergia lasketaan rakennusmääräyskokoelman osan D5 laskentamenetelmän avulla. Laskennassa selvitetään lattialämmitteisten tilojen vaipan johtumislämpöhäviöt, kylmäsiltojen aiheuttama lämpövuoto, vuoto- ja tuloilman lämmitystarve, sekä lämmityksessä hyödynnettävien lämpökuormien osuus. Lattialämmitteisten tilojen vuorokautisena keskilämpötilana käytetään arvoa 18 °C, jolloin tulee huomioiduksi käyttöjakson ja sen ulkopuolisen ajan sisäilman lämpötila. Lattialämmityksen vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 0,8.

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt voidaan laskea kaavalla C1

$$Q_{\text{rakosa}} = U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t_{\text{kk}} / 1000 \quad (\text{C1})$$

jossa Q_{rakosa} on johtumislämpöhäviö rakenneosan läpi, kWh
 U_i rakenneosan i lämmönläpäisykerroin W/m²K
 A_i on rakenneosan i pinta-ala, m²
 T_s on hallin sisälämpötila, °C
 T_u on kuukauden keskimääräinen ulkolämpötila, °C
 Δt_{kk} on kuukauden pituus (720h), h
 1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Rakenneosien lämmönläpäisykertoimet on luettu rakennekuvista. Allaolevasta taulukosta nähdään eri rakenneosien lämmönläpäisykertoimet.

Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet	
Rakenne osa	U-arvo [W/m ² K]
VP 1	0,59
AP 1	0,27
US 2	0,27
VS 1	2
Ulko-ovi	2
Väliovi	2,5
Ikkuna	2

Lattialämmitteisten tilojen pinta-alat on laskettu rakenneosittain rakennepiirustuksista. Alla olevasta taulukosta nähdään lattialämmitteisten tilojen pinta-alat.

Lattialämmitteisten tilojen laajuustiedot			
Rakenne osa	Pinta-ala [m ²]	Kylmäsilta	pituus [m]
Välipohja	260	Välip/seinä	111
Alapohja	260	Alap/seinä	111
Ulkoseinä	162	Seinäliitokset	144
Väliseinä	148	Välioviliitokset	61
Väliovi	35	Ulko-oviliitokset	18
Ulko-ovi	6	Ikkunaliitokset	59
Ikkuna	18		

Lämmönläpäisykertoimien ja rakenneosien pinta-ala tietojen perusteella lasketaan johtumislämpöhäviö jokaiselle rakenneosalle kuukausittain. Kuukauden ulkolämpötilat on luettu rakennusmääräyskokoelman osan D3 liitteestä. Johtumislämpöhäviöt lasketaan kaavan C1 avulla. Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöiksi saadaan yhteensä noin 49 MWh. Alla olevassa taulukossa on esitetty saadut tulokset kuukausittain.

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt [kWh]				Q _{joht}	48891 kWh		
Kuukausi	VP 1	AP 1	US 2	VS 1	Ulko-ovi	Väliovi	Ikkuna
Tammikuu	1069	886	816	2070	212	617	688
Helmikuu	1069	791	788	2070	205	617	664
Maaliskuu	1069	560	676	2070	176	617	570
Huhtikuu	1069	209	489	2070	127	617	412
(Toukokuu)	0	-115	288	0	75	0	242
(Kesäkuu)	0	-294	145	0	38	0	122
(Heinäkuu)	0	-312	70	0	18	0	59
Elokuu	1069	-161	133	2070	35	617	112
Syyskuu	1069	121	277	2070	72	617	233
Lokakuu	1069	429	437	2070	114	617	369
Marraskuu	1069	723	620	2070	161	617	523
Joulukuu	1069	882	751	2070	195	617	633
Vuosi	9624	4601	4989	18627	1297	5549	4205

Vuotoilman lämmitysenergiantarve voidaan laskea kaavalla C2

$$Q_{\text{vuotoilma}} = p_v c_v q_{\text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t_{\text{kk}} / 1000 \quad (\text{C2})$$

jossa $Q_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilman lämpöenergiantarve, kWh

p_v on ilman tiheys, $1,2 \text{ kg/m}^3$

c_v on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 kJ/kgK

$q_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilmavirran suuruus, m^3/s

T_s on hallin sisälämpötila, $^{\circ}\text{C}$

T_u on kuukauden keskimääräinen ulkolämpötila, $^{\circ}\text{C}$

Δt_{kk} on kuukauden pituus (720h), h

1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Vuotoilmavirran suuruus arvioidaan kaavan C3 avulla:

$$q_{\text{vuotoilma}} = q_{50} / (3600 * 24) A_{\text{lattial}} \quad (\text{C3})$$

jossa q_{50} on rakennusvaipan ilmanvuotoluku, $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

3600 on kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksikön muotoon m^3/s

24 on kaksikerroksisen rakennuksen huomioiva kerroin

A_{lattial} on lattialämmitteisten tilojen vaipan pinta-ala m^2

Vuotoilman suuruus lasketaan erikseen hallitilasta ja ulkoilmasta. Vuotoilmavirraksi saadaan hallitilasta ja myös ulkoilmasta $0,021 \text{ m}^3/\text{s}$. Vuotoilman lämmitysenergiantarve lasketaan kuukausittain kaavan C2 avulla. Vuotuisen käyttöjakson aikana vuotoilman lämmitysenergiantarve on noin 4,4 MWh. Laskelmat kuukausittain on esitetty alla olevassa taulukossa.

Vuotoilman lämmitysenergian- tarve		$Q_{\text{vuotoilma}}$	4375 kWh
Kuukausi	Ulkoilma	Hallitila	
Tammikuu	463	172	
Helmikuu	447	172	
Maaliskuu	383	172	
Huhtikuu	277	172	
(Toukokuu)	163	0	
(Kesäkuu)	82	0	
(Heinäkuu)	40	0	
Elokuu	75	172	
Syyskuu	157	172	
Lokakuu	248	172	
Marraskuu	352	172	
Joulukuu	426	172	
Vuosi	2829	1547	

Kylmäsiltojen aiheuttamat lämpöhäviöt rakennusosien liitoksissa lasketaan kuukausittain kaavalla C4 (Rakmk D5):

$$Q_{\text{kylmäsilta}} = l_k \sum_k (T_s - T_u) \Delta t_{kk} / 1000 \quad (\text{C4})$$

jossa $Q_{\text{kylmäsilta}}$ on johtumislämpöhäviö kylmäsilan läpi, kWh

l_k on kylmäsilan i lämmönläpäisykerroin $\text{W/m}^2\text{K}$

\sum_k on kylmäsilan pituus, m

T_s on hallin sisälämpötila, °C

T_u on kuukauden keskimääräinen ulkolämpötila, °C

Δt_{kk} on kuukauden pituus (720h), h

1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Kylmäsiltojen pituuden on laskettu pohja- ja rakennekuvista ja tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa.

Kylmäsilta	pituus [m]
Välip/seinä	111
Alap/seinä	111
Seinäliitokset	144
Välioviliitokset	61
Ulko-oviliitokset	18
Ikkunaliitokset	59

Kylmäsiltojen lisäkonduktanssien arvoina käytetään arvoja seuraavasta taulukosta:

Kylmäsiltojen lisäkonduktanssit	
Kylmäsilta	¥ [W/mK]
Yläpoja/seinä	0,08
Alapohja/seinä	0,24
Seinäliitokset	0,06
Oviliitos	0,07
Ikkunaliitos	0,07

Sijoittamalla laskennan lähtötiedot kaavaan C4, saadaan kylmäsiltojen aiheuttamaksi lämpöhäviöksi laskettua käyttöjakson ajalle noin 4,4 MWh. Tulokset kuukausittain on esitetty alla olevassa taulukossa.

Liitosten kylmäsilat						
Q _{kylmäsilat} 4404 kWh						
Kuukausi	Välipohja/seinä	Alapohja/seinä	Seinäliitokset	Ulko-ovi	Väliovi	Ikkunaliitos
Tammikuu	62	338	162	24	30	77
Helmikuu	62	301	156	23	30	77
Maaliskuu	62	213	134	20	30	77
Huhtikuu	62	80	97	14	30	77
(Toukokuu)	0	-44	57	8	0	0
(Kesäkuu)	0	-112	29	4	0	0
(Heinäkuu)	0	-119	14	2	0	0
Elokuu	62	-61	26	4	30	77
Syyskuu	62	46	55	8	30	77
Lokakuu	62	163	87	13	30	77
Marraskuu	62	276	123	18	30	77
Joulukuu	62	336	149	22	30	77
Vuosi	560	1754	988	144	267	691

Tuloilman lämmitysenergiantarve huonetilassa voidaan arvioida kaavalla C5.

$$Q_{iv} = t_d \cdot t_v \cdot p_v \cdot c_v \cdot q_{iv} \cdot (T_s - T_{iv}) \cdot \Delta t_{kk} / 1000 \quad (C5)$$

jossa Q_{iv} on raitisilman lämmitysenergiantarve, kWh
 t_d on ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24
 t_v on ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk
 q_{iv} on tuloilmavirta, m³/s
 T_s on sisälämpötila, °C
 T_{iv} on sisään puhallettavan ilman lämpötila, °C
 Δt_{kk} on kuukauden pituus (720h), h
 1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Sekä vuorokautisena, että viikoittaisena käyntiaikasuhteena käytetään arvo 1. Lattialämmitteisiin tiloihin ilmaa siirtyy joko tuloilmana ilmanvaihtokoneelta TK2 tai siirtoilmana hallitilasta. Vuorokauden keskimääräisenä kokonaistuloilmavirtana tiloihin käytetään arvioitua arvoa 0,55 m³/s ja ilman lämpötilana arvoa 15 °C. Sijoittamalla arvioidut arvot kaavaan C5 saadaan kuukausittaiseksi tuloilman lämmitysenergiantarpeeksi 1425,6 kWh.

Raitisilman lämmittämisen tarvitseva lämpöenergianmäärä arvioidaan kaavalla C6 (Rakmk D5). Raitisilma lämmitetään ilmanvaihtokoneessa olevan sähkövastuksen avulla sisään puhallettavan ilman lämpötilaan.

$$Q_{iv} = t_d \cdot t_v \cdot p_v \cdot c_v \cdot q_{tuloilmavirta} \cdot (T_{puhallus} - T_{lto}) \cdot \Delta t_{kk} / 1000 \quad (C6)$$

jossa Q_{iv} on raitisilman lämmitysenergiantarve, kWh
 t_d on ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24
 t_v on ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk
 $q_{raitisilma}$ on tuloilmavirta, m³/s
 $T_{puhallus}$ on sisään puhalluslämpötila, °C
 T_{lto} lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen ilman lämpötila, °C
 Δt_{kk} on kuukauden pituus (720h), h

1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Ilmanvaihtokoneen vuorokautisena käyntiaikasuhteena käytetään lukuarvoa 0,67 ja viikoittaisena käyntiaikasuhteena lukuarvoa 1. Vuorokautisena keskimääräisenä raitisilmavirtana käytetään arvoa 0,4 m³/s. Raitisilma lämmitetään sisään puhalluslämpötilan suuruiseksi, keskimäärin lämpötilaan 15 °C.

Lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila saadaan kaavalla C7:

$$T_{lto} = T_u + \phi_{lto} / (t_d t_v p_v c_v q_{raitisilma}) \quad (C7)$$

jossa ϕ_{lto} on lämmöntalteenotolla talteenotettu teho, W

Lämmöntalteenotolla kuukaudessa keskimäärin talteenotettu lämpöteho (ϕ_{lto}) voidaan laskea kaavalla C8.

$$\phi_{lto} = \eta_{lto} t_d t_v p_v c_v q_{poisto} (T_s - T_u) \quad (C8)$$

jossa η_{lto} on lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

q_{poisto} on poistoilmavirta, m³/s

Lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 0,50. Kaavan C8 avulla saadaan LTO-laitteen kuukausittaiseksi tehoksi:

LTO teho	[W]
Tammikuu	4181
Helmikuu	4036
Maaliskuu	3462
Huhtikuu	2505
(Toukokuu)	1473
(Kesäkuu)	741
(Heinäkuu)	360
Elokuu	682
Syyskuu	1418
Lokakuu	2240
Marraskuu	3177
Joulukuu	3846

LTO -laitteen jälkeiseksi raitisilman lämpötilaksi saadaan kaavalla C7 kuukausittaiset arvot:

LTO jälkeinen lämpötila [C°]	
Tammikuu	5
Helmikuu	5,45
Maaliskuu	7,235
Huhtikuu	10,21
(Toukokuu)	13,42
(Kesäkuu)	15,695
(Heinäkuu)	16,88
Elokuu	15,88
Syyskuu	13,59
Lokakuu	11,035
Marraskuu	8,12
Joulukuu	6,04

Kaavalla C6 lasketaan raitisilman lämmittämiseen sähkövastuksella tarvittava lämpöenergian määrä. Raitisilman lämmittäminen tuloilman lämpötilaan tarvitsee lämpöenergiaa vuosittain noin 11,7 MWh. Laskennan tulokset on esitetty alla kuukausittain.

Raitisilman lämmitysenergian tarve [kWh]	
Tammikuu	2316
Helmikuu	2211
Maaliskuu	1798
Huhtikuu	1109
(Toukokuu)	366
(Kesäkuu)	-161
(Heinäkuu)	-435
Elokuu	-204
Syyskuu	326
Lokakuu	918
Marraskuu	1593
Joulukuu	2075

Lämpökuormat huomioidaan tiloihin valaistuksen ja henkilöiden osalta. Aurinkoenergian lämpökuorma tiloihin oletetaan hyvin vähäiseksi pienen ikkunapinta-alan takia.

Henkilöiden luovuttama lämpökuorma lasketaan kaavan 10 avulla:

$$Q_{\text{henk}} = k n \phi_{\text{henk}} \Delta t_{\text{oleskelu}} / 1000 \quad (10)$$

jossa Q_{henk} on henkilöiden luovuttaman lämpöenergia, kWh

k on rakennuksen käyttöaikainen käyttöaste

n on henkilöiden lukumäärä

ϕ_{henk} on yhden henkilön luovuttama lämpöteho, W

$\Delta t_{\text{oleskelu}}$ oleskeluaika, h

Lattialämmitteisten käyttöaikaisena käyttöasteena käytetään arvoa 0,21, jolloin oletetaan henkilöiden oleskelevan tiloissa viisi tuntia päivässä. Lattialämmitteisissä tiloissa oletetaan oleskelevan keskimäärin 45 henkilöä kerrallaan. Keskimääräisenä henkilön luovuttamana lämpötehona käytetään arvoa 162 W/hlö.

Henkilöiden luovuttamaksi lämpökuormaksi kuukauden käyttöjakson ajalle saadaan:

$$Q_{\text{henk}} = 0,21 \cdot 45 \cdot 162 \text{ W} \cdot 720 \text{ h} / 1000 = 1102 \text{ kWh}$$

Valaistuksen tuottama lämpökuorma tiloihin on yhtä suuri, kuin valaistusjärjestelmän sähköenergian kulutus. Valaistusjärjestelmän lämpökuorma lattialämmitteisissä tiloissa on arvioitu olevan kuukaudessa keskimäärin 450 kWh.

LIITE 4 Patterilämmitteisten tilojen lämmitysenergiantarpeen laskenta

Patterilämmitteisten tilojen tarvitsema lämmitysenergia lasketaan rakennusmääräyskokoelman osan D5 laskentamenetelmän avulla. Laskennassa selvitetään patterilämmitteisten tilojen vaipan johtumislämpöhäviöt, kylmäsiltojen aiheuttama lämpövuoto, vuoto- ja tuloilman lämmitystarve, sekä lämmityksessä hyödynnettävien lämpökuormien osuus. Patterilämmitteisten tilojen vuorokautisena keskilämpötilana käytetään arvoa 18 °C, jolloin tulee huomioiduksi käyttöjakson ja sen ulkopuolisen ajan sisäilman lämpötila. Patterilämmityksen vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 0,9. Laskelmissa käytetyt patterilämmitteisten tilojen laajuustiedot on esitetty alla olevassa taulukossa

TSTO	Korkeus [m]	2,5	
Rakenne osa	Pinta-ala [m ²]	Kylmäsilta	pituus [m]
Yläpohja	15	Välip/seinä	16,2
Välipohja	15	Alap/seinä	16,2
Ulkoseinä	0	Seinäliitokset	10
Väliseinä	40,5	Oviliitokset	5,8
Väliovi	1,68	Ikkunaliitokset	10,5
Ikkuna	6,5		

TEROITUS	Korkeus [m]	2,5	
Rakenne osa	Pinta-ala [m ²]	Kylmäsilta	pituus [m]
Yläpohja	10	Välip/seinä	6,7
Välipohja	10	Alap/seinä	6,7
Ulkoseinä	10,5	Seinäliitokset	5
Väliseinä	23	Oviliitokset	5,8
Väliovi	1,68	Ikkunaliitokset	0
Ikkuna	0		

KONEH.	Korkeus [m]	2,5	
Rakenne osa	Pinta-ala [m ²]	Kylmäsilta	pituus [m]
Yläpohja	50	Välip/seinä	22
Välipohja	50	Alap/seinä	22
Ulkoseinä	35,5	Seinäliitokset	10
Väliseinä	35	Oviliitokset	5,8
Väliovi	1,68	Ikkunaliitokset	0
Ikkuna	0		

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt voidaan laskea kaavalla D1

$$Q_{\text{rakosa}} = U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t_{\text{kk}} / 1000 \quad (\text{D1})$$

jossa Q_{rakosa} on johtumislämpöhäviö rakenneosan läpi, kWh

U_i rakenneosan i lämmönläpäisykerroin $\text{W/m}^2\text{K}$

A_i on rakenneosan i pinta-ala, m^2

T_s on hallin sisälämpötila, $^{\circ}\text{C}$

T_u on kuukauden keskimääräinen ulkolämpötila, $^{\circ}\text{C}$

Δt_{kk} on kuukauden pituus (720h), h

1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Tilojen johtumislämpöhäviöksi saadaan käyttöajan ajalle noin 5,9 MWh. Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt on esitetty kuukausittain alla olevassa taulukossa.

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt				
Q_{joht}	5944 kWh			
Kuukausi	VS	VP2	US1	Väliovet
Tammikuu	275	210	241	70
Helmikuu	275	210	233	70
Maaliskuu	275	210	200	70
Huhtikuu	275	210	144	70
(Toukokuu)	0	0	19	0
(Kesäkuu)	0	0	10	0
(Heinäkuu)	0	0	5	0
Elokuu	275	210	39	70
Syyskuu	275	210	82	70
Lokakuu	275	210	129	70
Marraskuu	275	210	183	70
Joulukuu	275	210	222	70
Vuosi	2477	1327	1507	634

Vuotoilman lämmitysenergiantarve voidaan laskea kaavalla D2

$$Q_{\text{vuotoilma}} = p_v c_v q_{\text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t_{\text{kk}} / 1000 \quad (\text{D2})$$

jossa $Q_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilman lämpöenergiantarve, kWh

p_v on ilman tiheys, $1,2 \text{ kg/m}^3$

c_v on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 kJ/kgK

$q_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilmavirran suuruus, m^3/s

T_s on hallin sisälämpötila, $^{\circ}\text{C}$

T_u on kuukauden keskimääräinen ulkolämpötila, $^{\circ}\text{C}$

Δt_{kk} on kuukauden pituus (720h), h

1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Ulkoilman vuotoilmavirtana käytetään arvoa $0,002 \text{ m}^3/\text{s}$ ja hallitilasta tulevana vuotoilmavirtana arvoa $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$. Vuotoilman lämmitykseen kuluu kuukausittain lämpöenergiaa alla olevan taulukon mukaisesti. Vuotoilman lämmitysenergiantarve on laskennallisesti noin 957 kWh vuodessa.

Vuotoilman lämmitys [kWh]		
$Q_{\text{vuotoilma}}$ 957 kWh		
Kuukausi	Ulkoilma	Hallitila
Tammikuu	55	69
Helmikuu	53	69
Maaliskuu	45	69
Huhtikuu	33	69
(Toukokuu)	0	0
(Kesäkuu)	0	0
(Heinäkuu)	0	0
Elokuu	9	69
Syyskuu	19	69
Lokakuu	29	69
Marraskuu	41	69
Joulukuu	50	69
Vuosi	334	623

Kylmäsiltojen aiheuttamat lämpöhäviöt rakennusosien liitoksissa lasketaan kuukausittain kaavalla D3 (Rakmk D5):

$$Q_{\text{kylmäsilta}} = l_k \sum_k (T_s - T_u) \Delta t_{kk} / 1000 \quad (\text{D3})$$

jossa $Q_{\text{kylmäsilta}}$ on johtumislämpöhäviö kylmäsilan läpi, kWh

l_k on kylmäsilan i lämmönläpäisykerroin $\text{W/m}^2\text{K}$

\sum_k on kylmäsilan pituus, m

T_s on hallin sisälämpötila, °C

T_u on kuukauden keskimääräinen ulkolämpötila, °C

Δt_{kk} on kuukauden pituus (720h), h

1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Kylmäsiltojen on laskennallisesti arvioitu aiheuttavan käyttöjakson (8kk) aikana lämpöhäviöitä noin 714 kWh. Alla on taulukoitu laskelma saaduista tuloksista.

Kylmäsiltojen aiheuttamat lämpöhäviöt				
$Q_{\text{kylmäsilat}}$	714		kWh	
Kuukausi	VS/YP	VP2/VS	US1	Väliovet
Tammikuu	17	42	17	9
Helmikuu	17	42	16	9
Maaliskuu	17	42	14	9
Huhtikuu	17	42	10	9
(Toukokuu)	0	0	0	0
(Kesäkuu)	0	0	0	0
(Heinäkuu)	0	0	0	0
Elokuu	17	42	3	9
Syyskuu	17	42	6	9
Lokakuu	17	42	9	9
Marraskuu	17	42	13	9
Joulukuu	17	42	16	9
Vuosi	153	378	103	81

Tuloilman lämmitysenergiantarve huonetilassa voidaan arvioida kaavalla D4.

$$Q_{iv} = t_d t_v p_v c_v q_{siirto} (T_s - T_{siirto}) \Delta t_{kk} / 1000 \quad (D4)$$

jossa Q_{siirto} on siirtoilman lämmitysenergiantarve, kWh
 t_d on ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhte, h/24
 t_v on ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhte, vrk/7vrk
 q_{siirto} on siirtoilmavirta, m³/s
 T_s on sisälämpötila, °C
 T_{siirto} on siirtoilman lämpötila °C
 Δt_{kk} on kuukauden pituus (720h), h
 1000 on kerroin laatumuunnoksen suorittamiseksi kilowattitunniksi

Vuorokautisena käyntiaikasuhteena käytetään arvoa 0,67 ja viikoittaisena käyntiaikasuhteena arvoa 1. Tiloihin ilma tulee siirtoilmana hallitilasta ja ilman lämpötilana käytetään arvoa 10 °C. Tilojen kokonaissiirtoilmavirran arvioidaan olevan noin 0,05 m³/s. Arvioiduilla laskenta-arvoilla saadaan kuukausittaiseksi siirtoilman lämmitysenergiantarpeeksi 231,55 kWh.

Lämpökuormat huomioidaan tiloihin sähkölaitteiden ja henkilöiden osalta. Aurinkoenergian lämpökuorma tiloihin oletetaan hyvin vähäiseksi.

Henkilöiden luovuttama lämpökuorma lasketaan kaavan D5 avulla:

$$Q_{henk} = k n \phi_{henk} \Delta t_{oleskelu} / 1000 \quad (D5)$$

jossa Q_{henk} on henkilöiden luovuttaman lämpöenergia, kWh
 k on tilan käyttöaikainen käyttöaste
 n on henkilöiden lukumäärä
 ϕ_{henk} on yhden henkilön luovuttama lämpöteho, W
 $\Delta t_{oleskelu}$ oleskeluaika, h

Patterilämmitteisten tilojen käyttöaikaisena käyttöasteena käytetään arvoa 0,45, jolloin oletetaan henkilöiden oleskelevan tiloissa 11 tuntia päivässä. Patterilämmit-

teisissä tiloissa oletetaan oleskelevan keskimäärin 2 henkilöä kerrallaan. Keskimääräisenä henkilön luovuttamana lämpötehona käytetään arvoa 125 W/hlö.

Henkilöiden luovuttamaksi lämpökuormaksi kuukauden käyttöjakson ajalle saadaan:

$$Q_{\text{henk}} = 0,45 \cdot 2 \cdot 125 \text{ W} \cdot 720 \text{ h} / 1000 = 181 \text{ kWh}$$

Sähkölaitteiden tuottama lämpökuorma tiloihin on yhtä suuri, kuin sähkölaitteiden sähköenergian kulutus. Lämpökuorman arvioidaan tiloissa olevan noin 200 kWh kuukaudessa.

LIITE 5 Investointien kustannusarviot

Lauhdelämmön hyödyntämisratkaisu				
Käyttövesi ja lattialämmitys esimerkki				
Materiaalimenekki	Määrä	yks.	Hinta/yks. [€]	Hinta yht. [€]
Vesivaraaja	1	kpl	4500	4500
Käyttöveden lämmityskierukka	1	kpl	800	800
Lämmönsiirtoputket	35	m	46	1610
Putkiersiteet	35	m	26	910
Pumppujen uusinta	3	kpl	750	2250
Muut materiaalihankinnat				3525
Yhteensä				13595
Työmenekki	Määrä	yks.	Hinta/yks. [€]	Hinta yht. [€]
Lämmönjakohuoneen asennustyöt	160	h	65	10400
Muut (suunnittelu, valvonta jne.)	46	h	65	2990
Yhteensä				13390
HINTA YHTEENSÄ sis. alv				26985

Taajuusmuuntajat hallitilan ilmanvaihtokoneessa (TK1)				
Hallitila				
Materiaalimenekki	Määrä	yks.	Hinta/yks. [€]	Hinta yht. [€]
Taajuusmuuntajat	2	kpl	1700	3400
Mittausanturit	3	kpl	350	1050
Yhteensä				4450
Työmenekki	Määrä	yks.	Hinta/yks. [€]	Hinta yht. [€]
Suunnittelu, asennus- ja ohjelmointityöt	27	h	65	1755
Yhteensä				1755
HINTA YHTEENSÄ sis. alv				6205

Valaistuksen uusiminen LED-valaistuksella				
Rata-alue				
Materiaalimenekki	Määrä	yks.	Hinta/yks. [€]	Hinta yht. [€]
Valaisimet	102	kpl	500	51000
Muut tarvikkeet (kiskot, kannakointi jne.)				5000
Yhteensä				56000
Työmenekki	Määrä	yks.	Hinta/yks. [€]	Hinta yht. [€]
Suunnittelu- ja asennustyöt	150	h	65	9750
Yhteensä				9750
HINTA YHTEENSÄ sis. alv				65750

LIITE 6 Raportti kohteen energiakatselmuksesta**ENERGIAKATSELMUS****2.3.2015****1. PERUSTIEDOT****Katselmoitava kohde**

Kohteen nimi	Tikkakosken jäähalli
Osoite	Koulukatu 5 B, 41160 Tikkakoski
Toimialaluokitus	Urheilulaitosten toiminta (93110)

Katselmuksen suorittaja

Nimi	Matias Rantala
Oppilaitos	Seinäjoen ammattikorkeakoulu rakennustekniikan opiskelija LVI -tekniikan suuntautumislinja

2. ENERGIAN KULUTUS- JA KUSTANNUSTIEDOT**Kohteen keskimääräiset vuositason energiatiedot**

Energialaji	Kulutustiedot	Kustannustiedot	Hinnat
Sähköenergia	530 MWh	60950 €	0,115 €/kWh
Kaukolämpö	235 MWh	14981 €	63,75 €/kWh
Käyttövesi	1800 m ³	8316 €	4,6 €/m ³

Kulutusarviot laite- tai kulutuskohteittain**Sähköenergia**

Kylmäkoneisto	359 MWh
Rata-alueen valaistus	83 MWh
IV-kone TK1 puhaltimet	45 MWh
IV-kone TK2 sähkövastus	12 MWh
Muut (kuivaus, pumput jne)	31 MWh

Lämpöenergiantarve

Hallitila	291 MWh
Lattialämmitteiset tilat	65 MWh
Käyttö- ja jäänhoitovesi	62 MWh
Patterilämmitteiset tilat	7 MWh
IV-kone TK2 lämmitysvastus	12 MWh

Lämmitysmuoto

Lauhde- ja kaukolämpö
Kaukolämpö
Tulistus- ja kaukolämpö
Kaukolämpö
Sähkölämmitys

Huomautus Lauhde- ja tulistuslämmön hyödyntämisaste kuu-
kausittain n. 25...50 % lämmitysenergiantarpeesta

Vesi

Jäänhoitovesi	1200 m ³
Käyttövesi	600 m ³

Keskeisimpien järjestelmien ja laitteiden nykytilan kuvaus

Laite tai järjestelmä	Käyttötarve	Energiatehokkuus	Ohjaus ja säätötapa
Lattialämmitys	1. krs tilat	-	Menoveden lämpötilan säätö ulkoilman lämpötilan mukaan
Ilmalämmitys	Hallitila	-	Menoveden lämpötilan säätö ulkoilman lämpötilan mukaan
Patterilämmitys	Konehuone ja toimisto	-	Menoveden lämpötilan säätö ulkoilman lämpötilan mukaan
Kylmäkoneisto	Jään teko ja ylläpito	SEER -luku keskimäärin (laskennallinen) 2,5	Tehoportaiden säätö jääkentan laattalämpötilan mukaan
IV-kone TK1	Hallitilan ilmanvaihto ja kuivaus	SFP 1,33 (nimellistehon mukaan)	Käsi­käytöllä säädetään otte­lu/seisokkikäyttö.
Rata-alueen valaistus	Pelialueen valaiseminen	Lampun valotehokkuus 80 lm/W	Käsi­käyttö (kilpailukäyttö tai 2/3 -käyttö)

3. ENERGIANSÄÄSTÖTOIMENPITEET

Toimenpiteen kuvaus	Säästöt yhteensä € / vuosi	TMA a	Energiasäästöt [MWh/a]		Kohta raportissa
			Lämpö	Sähkö	
Lauhdelämmön hyödyntäminen	4900	5,3	77	-	4.1
Rata-alueen valaistuksen uusiminen	4300	14	-	37	4.6
Hallitilan tarpeenmukainen ilmanvaihto	800	7	-	7	4.2
Kylmäkoneen uusiminen	10120	21	-	88	4.3
Jäänhoitoveden optimointi	2500	-	14	12	4.4
Jäänpaksuuden optimointi	600	-	-	5	4.5
YHTEENSÄ	23220		91	149	
MUUT TOIMENPITEET					
Vesikalusteiden virtausmittaukset ja WC-istuimien vaihto					4.7.1
Tiiveyden parantaminen tuulikaapilla					4.7.2
Jäähän kohdistuvien lämpökuormien minimointi					4.7.3
Aurinkosähkön hyötykäytön kartoitus					4.7.4
Energiankulutuksen ja lämpötilatasojen jatkuva seuranta					
Energiakatsemuksien suorittaminen noin 5 vuoden välein					